

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE



Návrh nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky

Proposal of New Technology of Beds Tools
Production for Cutting Inserts

Student:	Bc. Lukáš Kousal
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Marek Sadílek, Ph.D.
Studijní obor:	2303T002 – 70 Strojírenská technologie
Pracoviště:	Katedra obrábění a montáže – 346
Termín odevzdání:	Ostrava 2010/2011

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Kousal**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky**
Proposal of New Technology of Beds Tools Production for Cutting Inserts

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současného stavu frézování tvarových ploch.
2. Přehled CAM systémů v obrábění.
3. Aplikace nové technologie výroby.
4. Zhodnocení různých způsobů programování lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky.
5. Technicko-ekonomický přínos navrhovaného řešení a závěry pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010. 138 s. ISBN 978-80-248-2278-4.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [4] SONETECH s.r.o. *Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje - EdgeCAM - Frézování - EdgeCAM intelligent manufacturing*. Uživatelská příručka, 2005. 80 s.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

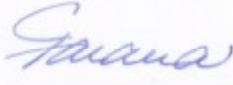
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci na téma Návrh nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě

.....

podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOUSAL, L. Návrh nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 78 s. Vedoucí práce: Sadílek, M.

Diplomová práce je zaměřená na návrh nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky. První část práce je teoretická a popisuje problematiku zadaného úkolu. Následuje zjednodušený popis stávající technologie výroby. Na to navazuje podrobný popis nově navržené technologie výroby lůžek nástrojů. Další část je o zhodnocení různých metod programování, návrhu vysokorychlostní metody obrábění a výběr CNC obráběcího stroje. Výsledkem je technicko-ekonomický přínos navrhovaného řešení.

Klíčová slova

CAD/CAM, SolidCAM, Obrábění, Frézování, Tvarové plochy, HSC, HERMLE

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KOUSAL, L. Proposal of New Technology of Beds Tools Production for Cutting Inserts: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, 78 p. Thesis head: Sadílek, M.

The master thesis deals with the proposal of new technology of beds tools production for cutting inserts. The first part is theoretical and describes the problem of the task given. A simplified description of the current technology follows. The thesis continues with a detailed description of the newly proposed technology of beds tools production. The second part deals with the evaluation of different methods of programming, a new concept of method of high speed cutting and selection of CNC cutting machine. The result is the technical-economic benefit of proposed solution.

Key words

CAD/CAM, SolidCAM, Cutting, Milling, Shaped area, HSC, HERMLE

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Marku Sadílkovi, Ph.D. za technologickou podporu, cenné připomínky a rady při vypracování stěžejních částí diplomové práce.

Děkuji také firmě SolidVision pod zastoupením CAM Specialisty Petra Thála za cenné rady pro softwarové vybavení SolidCAM.

Také bych chtěl poděkovat firmě Pramet Tools s.r.o za umožnění vypracování diplomové práce, především vedoucímu skupiny speciální nástroje Ing. Jaroslavu Václavkovi a jeho týmu za zasvěcení do dané problematiky a ukázky k tématu diplomové práce.

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých značek	10
Seznam použitých symbolů	11
Úvod.....	12
Pramet Tools s.r.o.	13
1 Přehled současného stavu frézování tvarových ploch	14
1.1 Teorie frézování	14
1.1.1 Zákonitosti procesu obrábění a obrobitelnosti.....	15
1.1.2 Vznik třísky a její tvarování.....	16
1.2 Aspekty vysokorychlostního obrábění	17
1.2.1 Technologie vysokorychlostního obrábění	17
1.2.2 Vlastnosti vysokorychlostního obrábění.....	18
1.2.3 Tvorba třísky u vysokorychlostního obrábění	19
1.2.4 Vysokorychlostní obrábění a bezpečnost práce.....	20
1.3 Technologie vysokorychlostní technologie.....	21
1.4 Frézování tvarových ploch.....	22
1.4.1 Výroba tvarových ploch tvarovými frézami	22
1.4.2 Výroba tvarových ploch pomocí obráběcích strojů.....	23
2 Stroje, nástroje a systémy aplikované při CAM obrábění	24
2.1 Frézovací obráběcí centra	24
2.2 Víceosé obrábění	24
2.3 CAM systémy.....	26
2.4 Vyměnitelné břitové destičky	27
3 Současný stav technologie výroby.....	28
3.1 Obráběný materiál	28
3.2 Stopková fréza firmy Pramet Tools	29

3.3	Současná technologie výroby.....	30
3.4	Popis jednotlivých operací obrábění	31
3.4.1	Obrábění makra odlehčení	32
3.4.2	Obrábění vnitřního chlazení.....	32
3.4.3	Obrábění zubové mezery	32
3.4.4	Obrábění lůžka	34
4	Aplikace nové technologie výroby	36
4.1	Počáteční analýza obrobku.....	36
4.2	Volba nástrojů	38
4.3	Počáteční nastavení programu.....	39
4.4	Zpracování jednotlivých operačních úseků.....	40
4.5	Souhrn nové technologie výroby	52
4.6	Návrh odjehlení ostrých hran lůžkové části	53
4.7	Simulace stroje	54
4.8	Tvorba NC programu	55
5	Zhodnocení různých způsobů programování lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky.....	56
5.1	Technologie „zarovnání za závitem“	56
5.2	Strategie vrtání vnitřního chlazení nástroje.....	57
5.3	Konstrukční návrh ploch nadlůžkové části	58
6	Návrh vysokorychlostní metody obrábění.....	60
6.1	Návrh vysokorychlostního obráběcího centra.....	61
6.1.1	Obráběcí centrum firmy DMG	62
6.1.2	Obráběcí centrum firmy HERMLE	63
6.1.3	Obráběcí centrum firmy MAZAK	63
6.2	Zhodnocení návrhu obráběcího centra	64
7	Technicko-ekonomický přínos navrhovaného řešení	65

7.1	Přínos v oblasti výměny a použití nástrojů	65
7.2	Úspora operačních úseků	67
7.3	Úspora vrtacího cyklu vrtání vnitřního chlazení	67
7.4	Úspora při návrhu strojního odjehlení ostrých hran lůžkové části	67
7.5	Porovnání výrobních časů současné a nové technologie	67
8	Závěry pro realizaci v praxi	69
	Závěr	70
	Citovaná literatura	72
	Seznam obrázků	75
	Seznam tabulek	77
	Seznam příloh	78



Seznam použitých značek

2.5D	Two and a half dimension Dvaapůl rozměrný
3D	Three Dimension Trojrozměrný
CAD	Computer Aided Design Počítačem podporovaný návrh
CAM	Computer Aided Manufacturing Počítačem podporovaná výroba
EN	European Norm Evropská norma
HSC	Hight Speed Cutting Vysokorychlostní obrábění
H	Filename extension NC code Přípona souboru NC kódu
HSM	High Speed Machining Vysokorychlostní technologie
ISO	International Organization for Standardization Mezinárodní organizace pro normalizaci
NC	Numerical Control Číslicově ovládané stroje
NX	Shortcut for the name of the previous Unigraphics Zkratka pro dřívější název Unigraphics
PLM	Product Lifecycle Management Správa životního cyklu výrobku
VBD	Vyměnitelné břitové destičky



Seznam použitých symbolů

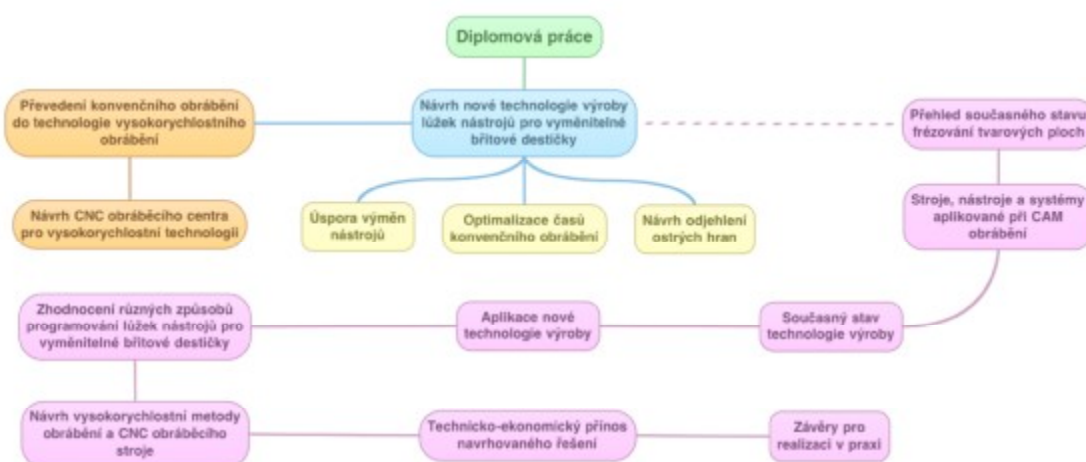
F	[N]	síla řezání
F_1	[N]	aktivní složka síly řezání
F_2	[N]	pasivní složka síly řezání
F_c	[N]	řezná (tangenciální) složka
F_e	[N]	síla řezání
F_f	[N]	osová (axiální) síla
F_{ok}	[N]	okamžitá síla obrábění
F_p	[N]	pasivní (radiální) složka
f_z	[mm.zub]	rychlost posuvu
n	[ot.min ⁻¹]	otáčky
p	[MPa]	měrný řezný odpor
P_f	[-]	boční rovina
P_p	[-]	zadní rovina
S	[mm ²]	průřez třísky
v_c	[m.min ⁻¹]	řezný rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	výsledná řezná rychlost
v_f	[m.min ⁻¹]	posuvová rychlost
β	[°]	úhel stříhu
δ	[°]	úhel smyku



Úvod

Vývoj technologie výroby tvarových ploch frézováním je známo už od samého počátku metody frézování a přitom jeho vývoj má možnost stále se posouvat dopředu. Jednak se vyvíjejí nové obráběcí stroje, které umožňují vzniknout novým obráběcím technologiím. Typickým inovačním příkladem rázným posunem technologie v před jsou pětiosé obráběcí centra. Díky těmto strojům je možné obrobít téměř jakákoliv plocha, která byla dříve neřešitelná nebo velice těžko obrobitelná. Pětiosé obráběcí stroje mají uplatnění i pro rovinné plochy, které jsou na sebe vázány pod různými úhly. Obrábí se tzv. na jedno upnutí. Právě tento případ řeší diplomová práce.

Téma se bude zabývat návrhem nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky. Bude snaha o snížení výrobních časů, kde čas výroby hraje velkou roli při nákladech na výrobu. Také by mělo dojít ke změně strategie obrábění a tím například snížení počtu výměn nástrojů. Tedy snaha o celkové zlepšení výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky. Posledním krokem při návrhu technologie obrábění je zakomponování odjehlení ostrých hran lůžkové části, tedy návrh jak zavést tuto operaci do výroby. V závěru práce je nastínění vysokorychlostní metoda obrábění a její využití na řešeném úkolu. S tímto je spojen i výběr nového CNC obráběcího centra.



Obr. 1 Cíle diplomové práce



Pramet Tools s.r.o.



*Pramet Tools, s.r.o., Uničovská 2
CZ - 787 53 Šumperk, Czech Republic*

<http://www.pramet.com>

Historie

Výroba slinutých karbidů ve společnosti Pramet Tools vychází z tradice výroby slinutého karbidu v Československu od 30. let. V roce 1951 byla zahájena v Šumperku výroba součástí ze slinutého karbidu a také zde započala výroba řezných nástrojů osazených slinutým karbidem. (1)

Více než 50-ti letá tradice a zkušenosti ve výrobě slinutého karbidu, stejně jako reprodukovatelná kvalita materiálů a kontinuální výzkum i vývoj umožnily firmě Pramet udržet si vedoucí pozici v daném sortimentu na tuzemském teritoriu a také získávat stále vyšší uplatnění na náročných exportních trzích. (1)

Firma působí ve velké části světa, viz Obr. 2, kde má své pobočky, regionální a smluvní prodejce.



Obr. 2 Oblast působení firmy ve světě (1)

Sortiment této firmy je tvořen výrobou řezných břitových destiček pro soustružení, frézování a vrtání. Nedílnou součástí je i výroba soustružnických, frézovacích či vrtacích nástrojů. Nabízí i nářadí z oblasti tváření. Poskytuje i polotovary zmíněného sortimentu.

Téma této práce se týká frézovacích nástrojů – výroby lůžek pro upnutí vyměnitelných břitových destiček.



1 Přehled současného stavu frézování tvarových ploch

Frézování jako takové patří do velmi rozšířené metody obrábění. Dá se říci, že velkou předností frézování je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Tato metoda obrábění se využívá pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění závitů či ozubení a také pro obrábění drážek různých profilů. Z těchto možností se budeme bavit o obrábění tvarových ploch frézováním – způsoby a metody výroby tvarových ploch frézováním ve skupinách tvarových fréz a frézování pomocí obráběcích center.



Obr. 3 Frézování tvarových ploch (2)

1.1 Teorie frézování

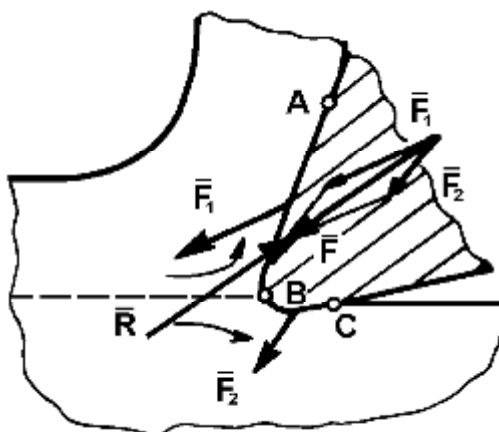
Základy obrábění, také teorie obrábění, nebo také teorie řezání se postupně vyvíjela v průběhu druhé poloviny 20. století. Představují poznatky trvalé hodnoty, ověřené spousty uznávanými odborníky, které byly a jsou ověřované na různých nástrojích a obrobkách. Tyto poznatky jsou obsažené v knihách, vědeckých člancích i v běžných kvalifikačních pracích. Aplikace těchto poznatků pro inovační technologie představuje novou výzvu pro univerzitní i průmyslový výzkum, protože inovace v technologiích jsou znakem vyspělosti strojírenského průmyslu a jsou zdrojem udržitelného hospodářského růstu.

Při frézování je tříska odebírána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je přímočarý

a vykonává jej obrobek. U moderních obráběcích strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky.

1.1.1 Zákonitosti procesu obrábění a obrobitelnosti

Síla obrábění a její složky jsou výhradně dynamickým jevem. Při obrábění jejich okamžitá velikost F_{ok} v závislosti na čase kolísá, a to i při obrábění za konstantních řezných podmínek. Proto je nutné experimentální měření několikrát opakovat. Kolísání je způsobeno rozptylem mechanických vlastností obráběného materiálu a jeho mechanikou tvorby třísky. Síla řezání F je výslednicí dvou složek, složky aktivní F_1 a složky pasivní F_2 . Sílu řezání i její složky se pak dále rozkládají.



Obr. 4 Síla řezání a její rozklad (3)

Poměr velikostí jednotlivých složek je dán zejména určitou technologií obrábění a geometrií nástroje. Ze všech složek síly řezání má zpravidla největší význam řezná (tangenciální) složka F_c . Je základem pro formulaci omezujících podmínek při optimalizaci řezných parametrů. Pasivní (radiální) složka síly soustružení F_p (působící v rovině zadní P_p) je zachycována tuhostí soustavy stroj – nástroj – obrobek a vyvolává deformace tohoto systému. Složka axiální F_f (osová), působící v rovině boční P_f (ve směru posuvu nástroje) představuje rozhodující část posuvové síly. (3)

Složky síly řezání jsou vzájemně kolmé a platí pro ně:

$$F_e = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad [N] \quad 1.1$$

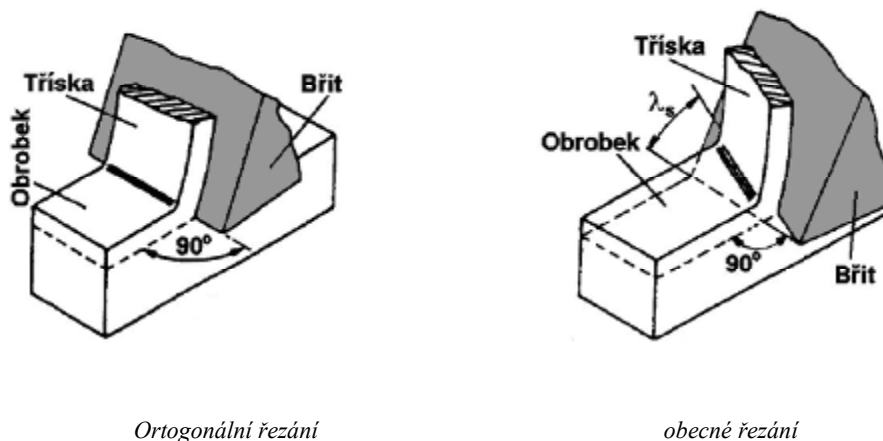
Měrná síla obrábění p (měrný řezný odpor) je velikost řezné (cuttingové) složky síly obrábění F_c , vztažená na 1 mm^2 odřezávaného průřezu třísky S .

$$p = \frac{F_c}{S} = \frac{R_c}{S} \quad [MPa, N \cdot \text{mm}^{-2}] \quad 1.2$$

1.1.2 Vznik třísky a její tvarování

Prioritním výstupem jsou parametry obrobené plochy. Při řezání působí obráběcí nástroj na obrobek a vyvolává v materiálu napětí, proti kterému klade materiál odpor. V důsledku toho se ustálí pole řezání, které má výrazné charakteristiky stavu napjatosti, teploty a deformace. Proces řezání se může realizovat jako ortogonální nebo obecné řezání. (3)

V případě ortogonálního řezání je ostří nastaveno kolmo na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině. Typickým příkladem ortogonálního řezání je zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby, protahování apod. Při obecném řezání je třeba řešit řezný proces v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici apod.). Tyto metody lze schematicky vidět na Obr. 5. (3)



Obr. 5 Realizace řezného procesu (3)



1.2 Aspekty vysokorychlostního obrábění

1.2.1 Technologie vysokorychlostního obrábění

Jednou z předních progresivní technologií současnosti je tzv. 3D obrábění. Jedná se o technologicky jednoduché, ale i velmi náročné plochy prostorově nepravidelných tvarů, které jsou často matematicky obtížně definovatelné. Perspektivní metoda, která řeší mnohé problémy „klasického třískového obrábění“ zmíněných ploch se nazývá HSC (High Speed Cutting – „vysokorychlostní obrábění“). Smyslem této progresivní technologie je snížit cenu výrobku při současném zvýšení jeho kvality. (3)

Technologie obrábění HSC je obrábění vysokými reznými a několikanásobně vyššími posuvovými rychlostmi v porovnání s konvenčním obráběním. Rychlou představu si můžeme udělat dle Tab. 1. Tedy HSC má 15x až 30x vyšší posuvové rychlosti než obrábění konvenční. Toto můžeme považovat za definici HSC obrábění.

Tab. 1 Srovnání metod obrábění

Konvenční obrábění	$< 1 \text{ m.min}^{-1}$
HSC obrábění	$> 15 \text{ m.min}^{-1}$ nejlépe však 30 m.min^{-1}

HSC technologie zahrnuje kromě vlastního vysokorychlostního obrábění i tzv. suché a tvrdé obrábění. Suché obrábění sleduje vyloučení nebo minimalizaci užití procesních kapalin a redukci nákladů na jejich filtraci a recyklování. Tvrdé obrábění znamená obrábění kalených ocelí a jiných velmi tvrdých materiálů nástroji s definovanou geometrií břitu náhradou za dříve užívanou technologii broušení. (4)

Při vysokorychlostním obrábění se teplota třísky blíží tavné teplotě obráběného materiálu tj. přibližně 600 °C pro hliník, 1000 °C pro bronz, 1300 °C pro šedou litinu a 1500 °C pro ocel. Při určité hodnotě rezné rychlosti náhle dochází ke změně řady chemických, metalurgických a mechanických vlastností třísky. Tříska při průchodu střižnou rovinou náhle zvýší teplotu v celém svém průřezu. Změkne a sníží svou přítlačnou sílu na čelo nástroje. Třecí síla i celkový rezný odpor klesne, zvětší se úhel smykové roviny a ztenčí se průřez třísky a současně se zvýší rychlost jejího odchodu z kontaktní zóny. Z toho důvodu se sníží plocha kontaktní zóny a omezi se sekundární



nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Vlivem vysoké odchozí rychlosti nestačí tříska předat teplo nástroji ani obrobku. Tím se minimalizuje přenos tepla do nástroje i obrobku a naprostá většina tepla odchází s třískou. Potom i přes celkově značný nárůst tepla se omezí opotřebení nástroje. Důsledkem poklesu řezných sil a snížením tepelného toku do obrobku stoupne i přesnost obrábění. Vysoká teplota třísky je tedy pozitivním faktorem i principiálním zdrojem efektů vysokorychlostního obrábění. (5)

1.2.2 Vlastnosti vysokorychlostního obrábění

HSC obrábění disponuje mnoha **výhodami**, některé z nich jsou:

- se zvyšujícími se otáčkami vřetena je umožněna i vyšší posuvová rychlost při stejné tloušťce třísky jako tomu je u konvenčního obrábění. To vede k významnému snížení strojního času. Pro představu je množství odebíraného materiálu o cca 30% větší než u konvenčního obrábění
- s ohledem na krátkou dobu záběru řezného břitu (u frézování) se vytváří krátká tříska, kompletně segmentovaná
- rychlost odchodu třísky neumožní vedení tepla do nástroje a obrobku, tím se tepelný účinek redukuje a snižuje tepelnou deformaci → vyšší přesnost obrobku. Možnost obrábění tepelně senzitivních materiálů.
- zavedení suchého obrábění je umožněno dle schopnosti tepelné vodivosti
- zrušení následných dokončovacích operací po obrábění lze provést díky zlepšené kvalitě obrobené plochy a podpovrchové vrstvy

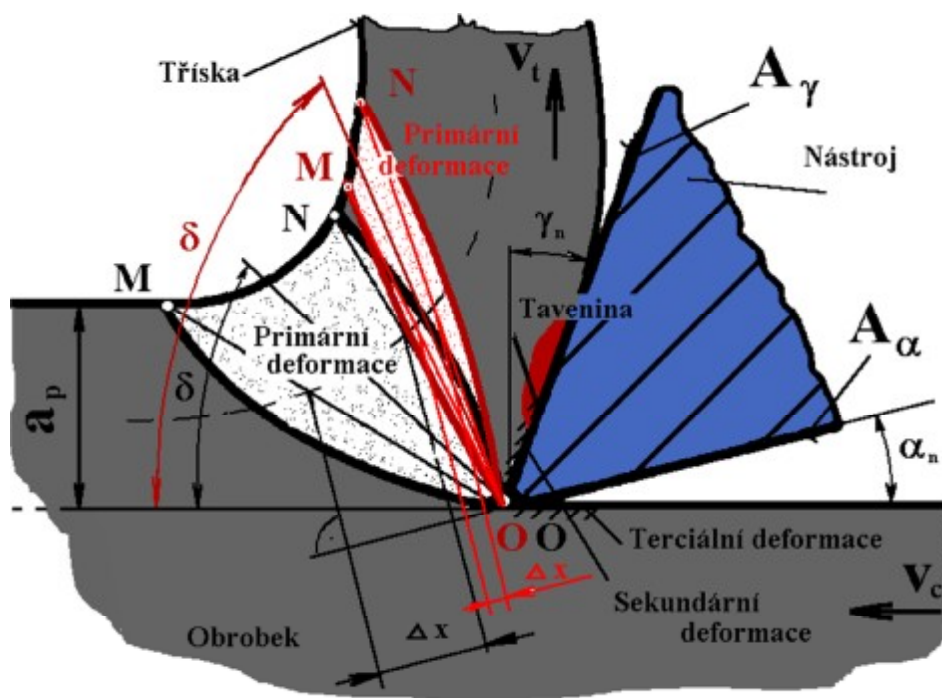
Najdou se i některé nevýhody:

- pro všechny druhy materiálů nejsou ještě dostatečně odzkoušená technologická data metody HSC
- vynaložení zvýšených nákladů pro zajištění dostatečné bezpečnosti obsluhujícího personálu
- speciální přesné upínání řezných nástrojů

1.2.3 Tvorba třísky u vysokorychlostního obrábění

Vysokorychlostní obrábění, realizované zvláště výkonnými, mimořádně tvrdými a tepelně odolnými řeznými nástroji, probíhá při teplotě třísky blízké tavné teplotě obráběného materiálu. Za určité řezné rychlosti dochází k náhlé změně řady metalurgických, chemických i mechanických vlastností třísky.

Tříska snižuje svou přitlačnou sílu na čelo nástroje. Tento děj nastane také v případě kalené ocelové třísky, která rovněž změkne. Třecí síla i celkový řezný odpor klesne, zvětší se úhel smyku δ , resp. stříhu β , ztenčí se průřez odcházející třísky a zvýší se rychlost v_t jejího odchodu z kontaktní zóny. (3)



Obr. 6 Tvorba třísky u „klasické“ a „HSC technologie“ (3)

Jelikož předpokladem významného efektu rychlostního obrábění (řezání, frézování) je hodnota posuvové rychlosti v_f alespoň $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, nejlépe však $v_f = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a výše (dle výzkumů TU v Darmstadtu), lze korigovat vztah (1.3) pro podmínky HSC technologie na tvar, kde rozdíl mezi v_c a výslednou řeznou rychlostí v_e nelze již zanedbat. (3)



$$v_d = [\cot g \delta + \tan(\delta - \gamma_n)] \cdot \frac{v_e}{\Delta x} \quad 1.3$$

Již výše zmíněné efekty je možno zdůvodnit také tím, že posuvová rychlost je již srovnatelná s rychlostí řeznou v_c . To způsobuje zvýšenou reakci plasticky se deformujícího materiálu i ve směru posuvové rychlosti v_f .

Koeficient tření μ je brána za konstantní veličinu. Avšak u vysokorychlostního třískového obrábění to neplatí, protože koeficient μ není při obrábění konstantní, ale se stoupající řeznou rychlostí klesá.

1.2.4 Vysokorychlostní obrábění a bezpečnost práce

Technologie HSC vyžaduje vysoké požadavky na bezpečnost práce a to především při opatření zajištění bezpečnosti při práci a ochranu zdraví.

Při použití suchého HSC obrábění může často dojít ke vzniku jemného a zdraví škodlivého kovového prachu. Extrémně vysoká řezná rychlost má za následek zvýšení emise hluku, proto je nutné jim předcházet pomocí vhodných bezpečnostních a ochranných krytů.

I když má HSC ve srovnání s tradičním obráběním v několika bodech technologicky podmíněné výhody, je potenciál ohrožení při obrábění HSC velmi vysoký. Vysoká frekvence otáčení vřetena může vést především při prudkém nárůstu dostředivých sil k překročení pevnosti materiálu upínacích a nástrojových systémů nebo obrobků. Přitom může dojít ke vzniku značného nebezpečí, neboť kinetická energie se nekontrolovaně uvolňuje po volných trajektoriích. (6)

Břitové destičky nebo prasklé kusy nástrojů mohou vyvinout při rychlostech HSC energii srovnatelnou se střelnou zbraní. Prasklá těla náradí mohou dokonce způsobit proražení krytů strojů, pokud nejsou dostatečně dimenzovány.

1.3 Technologie vysokorychlostní technologie

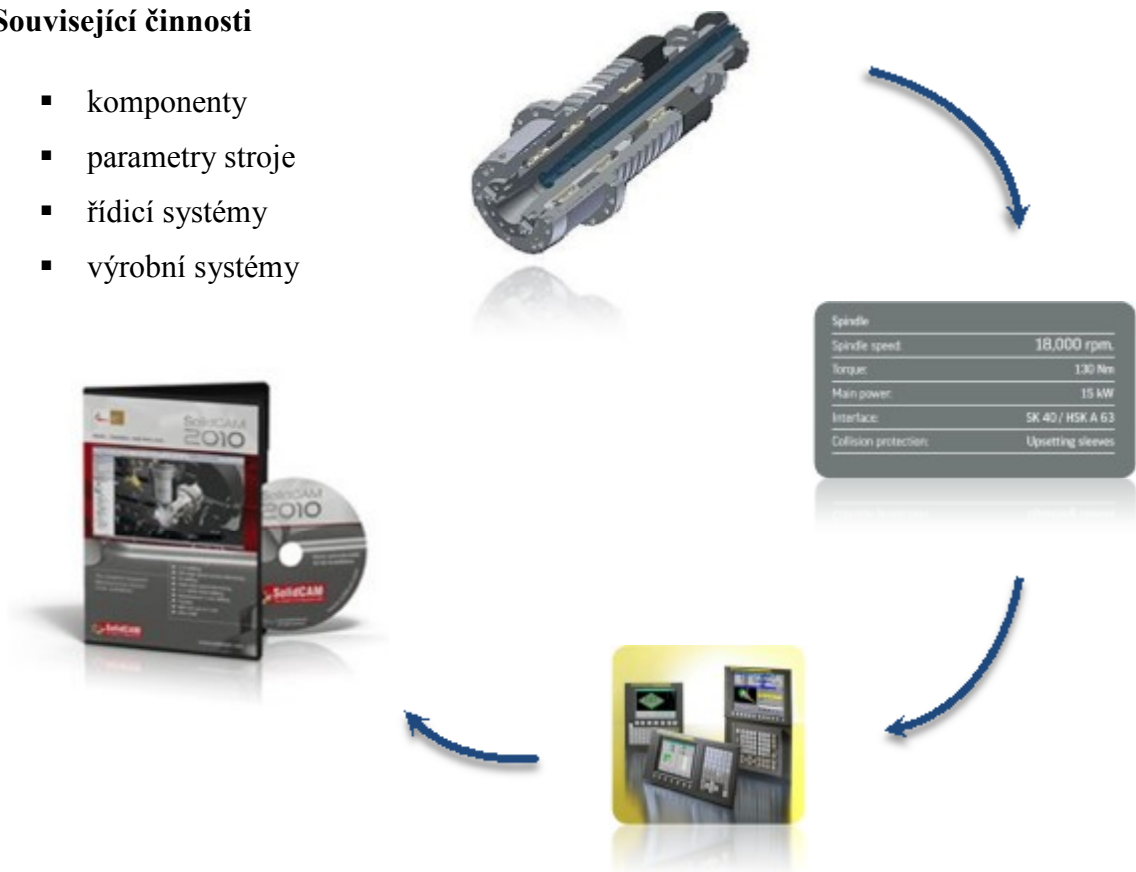
HSM (High Speed Machining) = Vysokorychlostní technologie

Vysokorychlostní obrábění (HSM) je jednou z moderních technologií, která ve srovnání s konvenčním obráběním umožňuje zvýšit efektivitu, přesnost a kvalitu dílců, a snížení nákladů a času obrábění. (7)

Tato technologie HSM má související činnosti, protože vysoká řezná a mnohonásobně vysoká posuvová rychlost (charakteristická pro HSC) ještě nemusí znamenat obrábění v HSM.

Související činnosti

- komponenty
- parametry stroje
- řídicí systémy
- výrobní systémy



HSM je často používáno pro dokončení kalených ocelí s vysokými rychlostmi a posuvy. HSM lze nazvat spíše jako vysoce produktivní obrábění při obrábění součástí pro hrubování i dokončování a také pro dokončení na super-dokončení součástí všech velikostí.



1.4 Frézování tvarových ploch

Frézování tvarových ploch lze provést několika způsoby. Nejstarším způsobem je ruční frézování, kdy operátor ručně kombinuje příčný a podélný posuv, dále pak kopírovací, elektronické kopírovací frézování, NC frézování nebo s použitím nejmodernější již zmíněnou HSM (HSC) technologií.

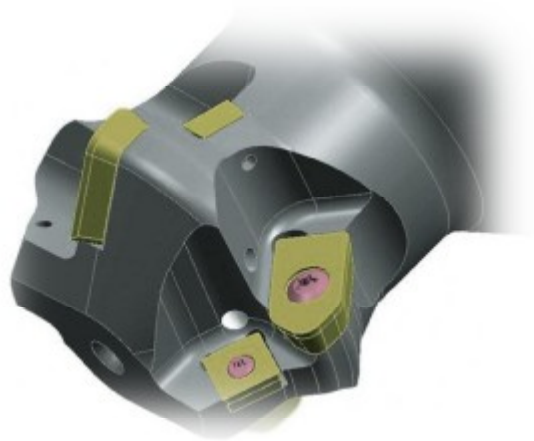
Toto rozdělení lze provést jednodušeji a vhodněji pro daný řešený problém z hlediska technologického v závislosti na aplikovaném nástroji a stroji na:

- výroba tvarových ploch tvarovými frézami
- výroba tvarových ploch pomocí obráběcích strojů (frézek)

Bližší informace o těchto dvou metod obrábění se dozvíme ve dvou následujících kapitolách.

1.4.1 Výroba tvarových ploch tvarovými frézami

Rezným nástrojem pro tuto výrobu jsou tvarové frézy. Jejich tvar je odvozen od požadované obráběné tvarové plochy. Díky tomuto tvaru nástroje není za potřeby víceosých obráběcích center. Jejich použití je značně široké a to jak při obrábění drážek různých druhů, tak i tvarových povrchových ploch. Jeden konkrétní typ nástroje je jednoúčelový a je tedy pro výrobu dané tvarové plochy. Tvarové frézy kruhových profilů (vnitřních, vnějších) jsou především normalizovány, zatímco ostatní druhy tvarových fréz jsou řešeny jako operační. Do zvláštní skupiny tvarových fréz patří frézy na obrábění ozubení.



Obr. 7 Tvarová fréza pro obrábění rybinových drážek (8)



1.4.2 Výroba tvarových ploch pomocí obráběcích strojů

Pro tuto metodu výroby tvarových ploch jsou frézy všech velikostí a druhů, především to jsou v dnešní době hojně využívané kulové frézy pro obrábění moderních tvarových souvislých ploch.

Výroba tvarových ploch frézováním se provádí na konvenčních obráběcích strojích (např. universální konzolová frézka), kopírovací a speciální frézky. V současnosti se dynamicky využívají číslíkově simultánní řízené obráběcí stroje, ty však zároveň vytlačují z výroby předchozí zmíněné obráběcí stroje.

Číslíkově simultánní řízené obráběcí stroje jsou nedílně propojené s CAD/CAM systémy. Nejmodernější CAD/CAM systémy umožňují obrábění lokalizovaných tvarových ploch pomocí speciálního obráběcího modulu HSS (High Speed Surface – „vysokorychlostní povrchové obrábění“) pro 2.5D obrábění. Pro 3D obrábění ve více osách, a to pět a více os, je dostupný obráběcí modul HSM (High Speed Machining – „Vysokorychlostní technologie“).



2 Stroje, nástroje a systémy aplikované při CAM obrábění

2.1 Frézovací obráběcí centra

V současnosti je vývoj v oblasti výrobních strojů ve strojírenství z velké části dán využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace strojů při použití počítačové techniky a příslušných softwarů umožňuje podstatným způsobem zvyšovat jejich technickou hodnotu tím, že provádí rychle, přesně a spolehlivě opakované činnosti.

Dokáže efektivním způsobem nahradit lidskou sílu, tedy zvyšuje produktivitu práce.



Obr. 8 Obráběcí centrum HERMLE C20 (19)

Klasické obráběcí stroje se postupně z dílen vytrácejí, avšak jejich zánik zamezí uplatnění v opravárenství.

CNC¹ (Computer Numerical Control – „počítačem číslicově řízený“) stroje pokrývají dnes široký rozsah různých technologií obrábění, zvládají dále i oblasti tváření a řezání materiálu a další. CNC obráběcí centrum je v podstatě jeden stroj, který obsahuje rozličné technologie výroby, což v praxi umožní na jednom stroji provést více technologických operací. Vznikají i jednoúčelové specializované stroje, stroje s víceosým řízením, které se snaží co nejvíce přizpůsobit požadavkům zákazníka.

2.2 Víceosé obrábění

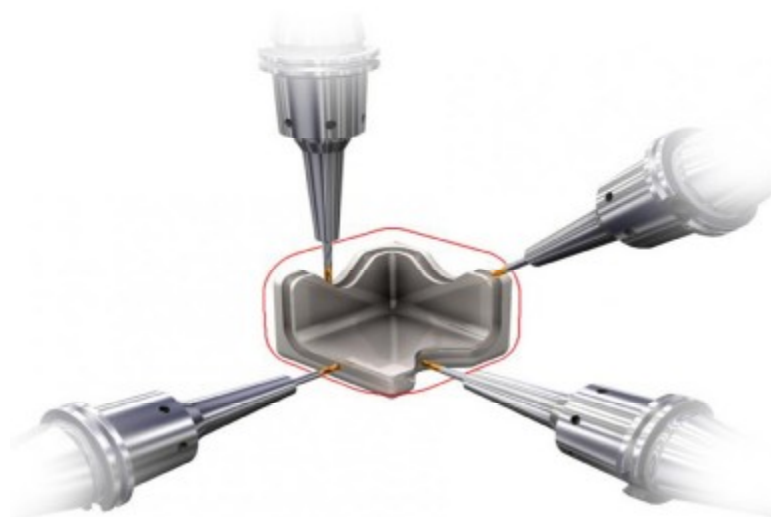
Pojmem víceosého obrábění je myšleno pět a více os pro pohyb nástroje a obrobku. Řízení pěti os najednou při obrábění: (9)

- při posuvech v osách X, Y, Z může být řešeno:
 - Otočným stolem (C osa) a jeho naklopením (osy A nebo B)

¹ CNC (Computer Numerical Control – „počítačem číslicově řízený“) stroje jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfa-numerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí.



- Přídavným zařízením na stole (kolébka, ve kterém lze obrobkem otáčet: umístěním ve směru os X nebo Y a jejím natáčením (A nebo B osa)
- Výkyvem frézovací hlavy ve dvou osách X, Y (A, B)



Obr. 9 Pětiosé frézování (10)

Pětiboké obrábění je důležitou složkou pro výrobu jak forem, tak i nástrojů, protože je schopné nabídnou lepší možnosti obrábění a dosahuje lepší kvality povrchu. Při zapojení vysokorychlostního obrábění do tohoto procesu se nám integrita povrchu ještě významně zlepší.

Výhody pětiosého frézování jsou patrné nejen u velkých obráběcích center a výroby lisovacích forem, jejichž volně vytvořené plochy se musely po tříosém frézování dodatečně obrábět. Důležitou aplikací se teď stávají malé formy pro vstřikování, které se používají k výrobě spotřebního zboží ve velkých sériích, jako jsou mobilní telefony, diktafony atd. Jejich ergonomicky tvarované, volně vytvořené plochy se hlavně erodují nebo přímo frézují. Tato práce musí být provedena rychle a ve vysoké kvalitě. (11)

Ovládání pěti simultánně se pohybujících os, kompenzace nepřesností stroje a rozměrů nástroje, interpolace různých obráběcích strategií - to všechno jsou parametry, které se musí brát v úvahu při výpočtu obráběcí dráhy. Tyto výpočty potřebují pečlivě propracovaný software a vysoké rychlosti hardwaru. (11)



2.3 CAM systémy

Vysvětlení a charakteristika pojmu CAM

CAM (Computer Aided Manufacturing) = počítačem podporovaná výroba

CAM označuje systém, který připravuje data a programy pro řízení numericky řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Tento systém využívá geometrické a další informace vytvořené ve fázi návrhu v systému CAD. Představuje v užším pojetí automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni a zahrnuje i automatický sběr dat o skutečném stavu výrobního procesu, numericky řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a automatické sklady. (12)

Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součástí je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. (12)

Použitý obráběcí software

Použitým obráběcím softwarem pro daný technický úkol k řešení je SolidCAM integrovaný do celosvětově známého 3D konstrukčního softwaru SolidWorks.

Program SolidCAM disponuje pokročilými obráběcími moduly pro víceosé simultánní frézování. Zobrazuje plnou simulaci stroje s detekcí kolizí, nabízí specifické strategie obrábění, přizpůsobování více křivkám, hladké nájezdy a odjezdy nástroje a další.



Obr. 10 Prostředí programu SolidCAM 2010

2.4 Vyměnitelné břitové destičky

Vyměnitelná břitová destička VBD je přímá vyměnitelná řezná část obráběcího nástroje. Díky této vlastnosti dochází při opotřebení nástroje pouze k výměně řezné části, nikoli k výměně celého nástroje – efektivní úspora. Další výhodou je možnost volby méně nákladného materiálu těla frézy, než jaký volíme pro řeznou část. VBD se vyrábějí ze slinutých karbidů, rychlořezné oceli nebo keramických materiálů.



Obr. 11 Nová břitová destička Pramet ADMX pro frézování (13)

Důvody používání vyměnitelných destiček

Normalizované nástroje, hlavně nože, frézy a vrtáky, jsou nejvíce používanými druhy nástrojů při obrábění. Důvod jejich normalizace vyplynul z toho, že většina dílů vyráběných obráběním obsahuje následné tři základní plochy: (14)

- Válcová, příp. kuželová a kulová plocha (vnější a vnitřní) – obrábění soustružením
- Rovinná, příp. jednoduchá tvarová plocha – obrábění frézováním
- Díra, příp. zahloubení – obrábění vrtáním, resp. Vyvrtáváním

Důvodem pro zavádění nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami je především finanční úspora, která je spojena právě s vyměňováním břitů nástroje, kde tělo nástroje zůstává neměnné a tím přispívá k již zmíněným finančním úsporám. Dokupují se již jen břitové destičky za výrazně nižší cenu, než je celý nástroj.



3 Současný stav technologie výroby

3.1 Obráběný materiál

Obráběným materiálem těla frézovacího nástroje je dle ČSN 416343 materiál:

16 343.7

ekvivalent EN: 34CrNiMo6

zušlechtěný na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli.

Tab. 2 Chemické složení 16 343 (hm. %)

Materiál		Fe	C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
16 343	min	zbyt	0,23	1,3	0,50	0,20	1,30			0,15
	max		0,40	1,7	0,80	0,30	1,70	0,035	0,035	0,40

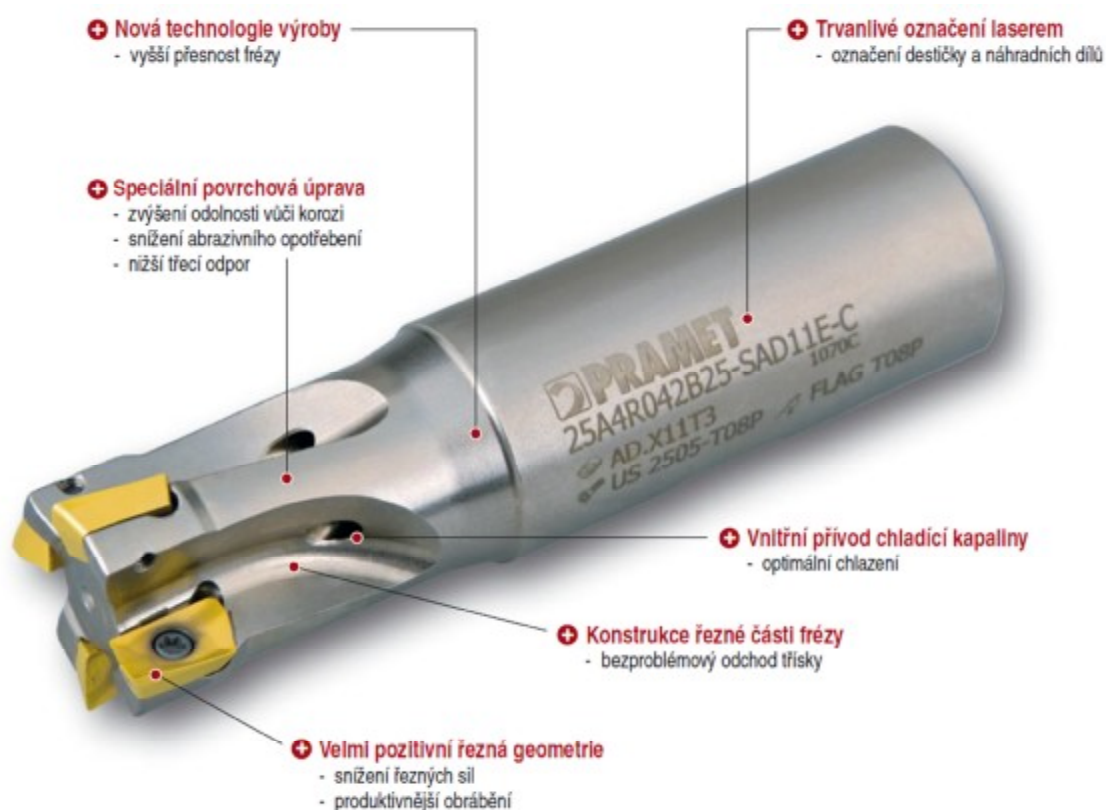


Obr. 12 Polotovár obráběné frézy

Ocel typu Cr-Ni-Mo, zušlechtitelná na vyšší pevnost. Pro vyšší teploty a žárovečné, pro velké výkovky. Je vhodná pro velmi náročné konstrukční dílce, eventuálně pro práci při snížených teplotách, dále je také vhodná na kompresorová a turbinová kola, kloubové hřídele, unášeče trakčních motorů, ozubená kola apod. Svařitelnost obtížná. (15)

3.2 Stopková fréza firmy Pramet Tools

Předmětem řešeného úkolu je stopková fréza 20A3R032B20–SAD11E–C s břitovými vyměnitelnými destičkami ADMX11 firmy Pramet Tools s.r.o. zobrazená na Obr. 13. Daný řešený úkol se týká návrhu nové technologie výroby lůžka pro upnutí vyměnitelné břitové destičky ADMX11.



Obr. 13 Stopková fréza SAD11E

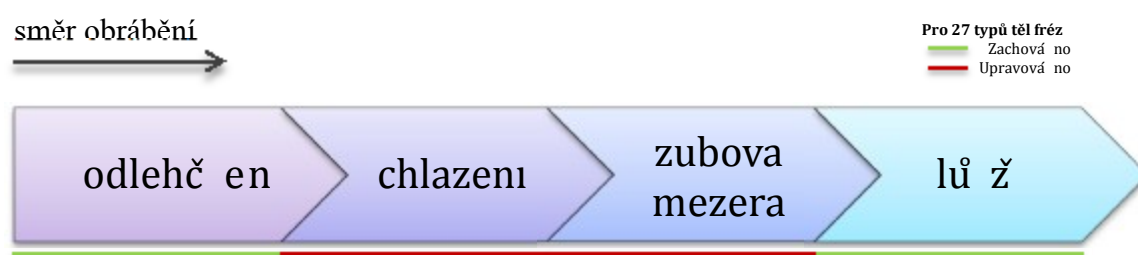
Kompletní parametry této stopkové frézy jsou uvedeny v příloze č. 1, kde je uvedený rozsah průměrů s příslušnými rozměry stopkové frézy. V příloze č. 2 je vysvětlený ISO systém značení stopkových fréz.



3.3 Současná technologie výroby

Současný stav technologie výroby byl vytvořen v programu NX CAM² od společnosti Siemens PLM Software. Model obrobku byl vymodelován v programu NX5 od stejné společnosti.

Vzhledem k tomu, že obráběné lůžko je jedno ze dvaceti sedmi typů výrobků těl fréz, bylo zavedeno stavebnicové (makrové) řešení programování pomocí programu Tool Creator. Obrábění zubu je rozděleno na následující makra (skupiny operací):



Obr. 14 Rozdělení maker současného stavu obrábění

Makra odlehčení a lůžko jsou shodné u všech dvaceti sedmi těl fréz. U maker chlazení a zubová mezera dochází k úpravě podle úhlu zubové mezery (otevřená, zavřená, 90°) a dle počtu zubů fréz.

Převážně je zvolená nesousledná technologie frézování. Používá se u operací, kde eliminuje tvorbu otřepů v nepříznivém směru. Na těchto operací je tato metoda produktivnější a šetří nástroj.

Sousledné frézování je použito tam, kde frézy odskakují, drnčí a je požadovaný kvalitnější povrch.

² NX CAM Express je CAM program vycházející z velkého CAD/CAM systému NX (dříve Unigraphics). Nejde o novou aplikaci, ale o program plně využívající pokročilé metody tohoto vyspělého systému. Také ovládání je naprosto shodné. (23)

NX CAM Express je koncipován jako samostatná „multicadovská“ aplikace pro tvorbu a generování NC kódů pro CNC stroje od jednoduchých frézovacích operací ve 2,5 osách, soustružení, drátové řezání až po plně pětiosé řízené stroje. (23)



3.4 Popis jednotlivých operací obrábění

Popis obsahuje výpis všech jednotlivých operací jednotlivých makr se základními parametry obrábění. Operace v makru lůžka budou popsány s názorným zobrazením daných operací. Uváděné časy jsou dány programem NX CAM a od skutečných hodnot se mohou mírně lišit.

Nástrojový list

Na výrobu lůžek současného stavu obrábění je potřeba 15 nástrojů, které jsou tvořeny stopkovými frézami, kulovými frézami, navrtáky, vrtáky a závitníkem.

Tab. 3 Nástrojový list současného stavu obrábění

Druh nástroje	Průměr nástroje	Číselné označení	Počet operací	Nástroj č.
Stopková fréza VB	Ø32mm	32A3R040B32C-SAP15D	3	T2
Válcová fréza	Ø2mm	02E2S40-06,5A03 KEVA	1	T130
	Ø2mm	02E2S40-06,5A03 KEVA	1	T129
	Ø3mm	03E6R50-08A06 KIVA	2	T821
	Ø4mm	EM3 4060-14	1	T22
	Ø8mm	08E4S64-20A08-05 TURU	1	T223
Toroidní fréza	Ø4mm	04E4S50-12A04-03 TURU	4	T827
	Ø6mm	EM4 6060-13-05	1	T21
Kulová fréza	Ø3mm	BNN2_3030_08	4	T255
Navrtáva	Ø3mm	A6181TFT-3	1	T312
	Ø3mm	00546-4	1	T321
Vrták	Ø1.6mm	K1161-1.6	1	T302
	Ø2.1mm	A65478TML-2.1	2	T9
	Ø3mm	A6585TFT-3/54	1	T11
Závitník	Ø2.5mm	2041606-2.5	1	T14



3.4.1 Obrábění makra odlehčení

Obrábění makra odlehčení je tvořeno třemi operacemi, které se skládají z navrtání a vrtání.

Tab. 4 Tabulka operací obrábění makra odlehčení

Č.o.	Operace	Nástroj	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_{min} [mm.zub ⁻¹]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění (čas řezav [s])
1	Hrubová n navrtá n odlehč en	T821	10610	0,0039	99	—
2	Vrtá n odlehč en lůž k	T11	6300	0,0793	59	—
3	Navrtá n rohové ú prav	T302	6000	0,0166	75	—

3.4.2 Obrábění vnitřního chlazení

Tato skupina obrábění se zabývá obráběním vnitřního chlazení, které je obráběno do takřka neobrobeného materiálu.

Tab. 5 Tabulka operací obrábění vnitřního chlazení

Č.o.	Operace	Nástroj	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub ⁻¹]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění (čas řezav [s])
4	Hrubová n navrtá n chlazení	T821	10610	0,0039	99	17
5	Navrtá n chlazení	T312	8000	0,0375	150	—
6	Vrtá n chlazení	T9	3800	0,0236	25	—

3.4.3 Obrábění zubové mezery

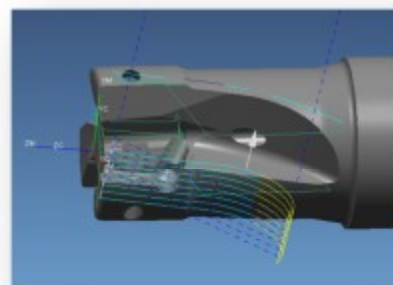
Obrábění zubové mezery je řešeno čtyřmi operacemi. Hrubuje se největší množství odebíraného materiálu na dvě operace s jedním dohrubováním.



Tab. 6 Operace 7 obrábění zubové mezery

Č.o.	Operace	Nástroj	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub ⁻¹]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění (čas řezav [s])
7	Hrubová n mezery nablůž k	T2	1300	0,0769	163,36	40

Obrábění probíhá za řezných podmínek dle tabulky s přídávkem na bok i dno 0,1 mm s axiální hloubkou řezu $a_p = 1$ mm a radiální hloubkou řezu $a_e = 6,5$ mm. Celkový řezný čas operace je 40s.



Obr. 15 Hrubování mezery nablůžka

Tab. 7 Operace 8 obrábění zubové mezery

Č.o.	Operace	Nástroj	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub ⁻¹]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění (čas řezav [s])
8	Dohrubová n mezery nablůž k	T2	1300	0,0769	163,36	—

Jedná se o operaci dokončení mezery nablůžka, kde je cílem vytvoření kvalitnější drsnosti povrchu. Axiální a radiální hloubka řezu je $a_p = 0,1$ mm.

Tab. 8 Operace 9,10 obrábění zubové mezery

Č.o.	Operace	Nástroj	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub ⁻¹]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění (čas řezav [s])
9	Hrubová n zaoblení nablůž k	T2	1300	0,0769	163,36	—
10	Rohové zaoblení mezery	T255	9998	0,01	94	—

Operace č. 9 je tvořena jedním řezem nahotovo ($a_p = 3$ mm). Řezné podmínky u operace č. 10 jsou voleny s ohledem na kvalitu obrobené plochy.

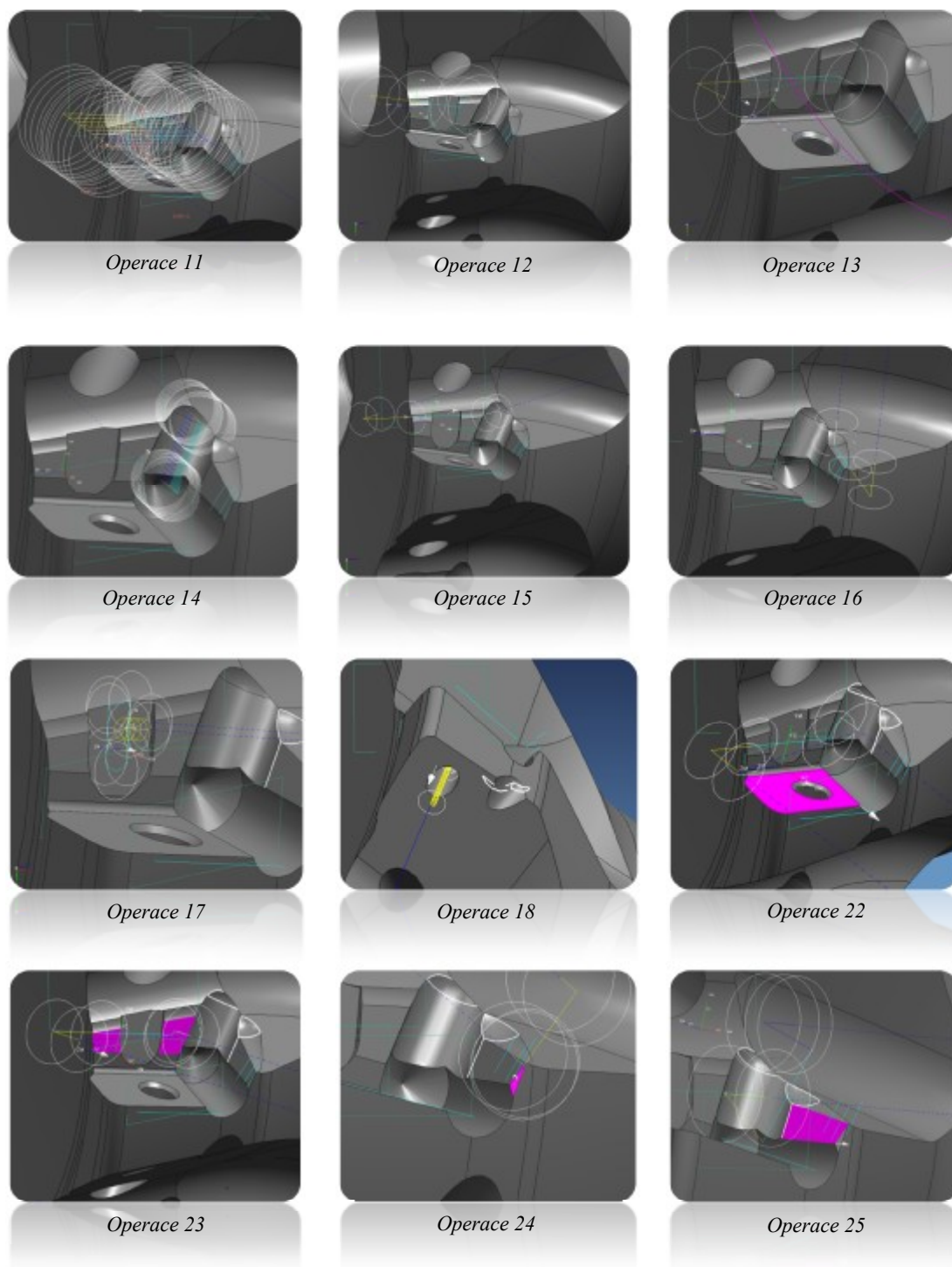


3.4.4 Obrábění lůžka

Obrábění lůžka je skupina operací, které jsou stejné pro všechny typy nástrojů

Č.o.	Operace	Nástroj	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f _z [mm.min ⁻¹]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění (čas řezav [s])
11	Hrubová n lůž k	T223	10151	0,08	163,36	2
12	Dohrubová n lůž k a z bok	T21	5305	0,0259	94	5
13	Hrubová n dotahu z boku	T22	5305	0,0259	94	2
14	Odlehč en lůž k	T255	14000	0,0089	131	16
15	Sraž en dlouhé	T255	14000	0,0089	131	4
16	Sraž ení krátký	T255	14000	0,0089	131	2
17	Dráž k dotahu	T130	7962	0,008	50	9
18	Zarovná ní závit m	T129	7962	0,008	50	25
19	Navrtá n závitové h lůž k	T321	6300	0,00793	59	—
20	Vrtá ní závit lůž k	T9	3800	0,0236	25	—
21	Závitová lůž k a M.	T14	509	0,15	3	—
22	Finish lůž k z boku	T827	7957	0,0109	99	9
23	Finish dlouhý dotah	T827	7957	0,0109	99	5
24	Finish sraž en	T827	7957	0,0109	99	3
25	Finish krátký dotah	T827	7957	0,0109	99	3

Grafické zobrazení operací obrábění lůžka čtvrtého makra



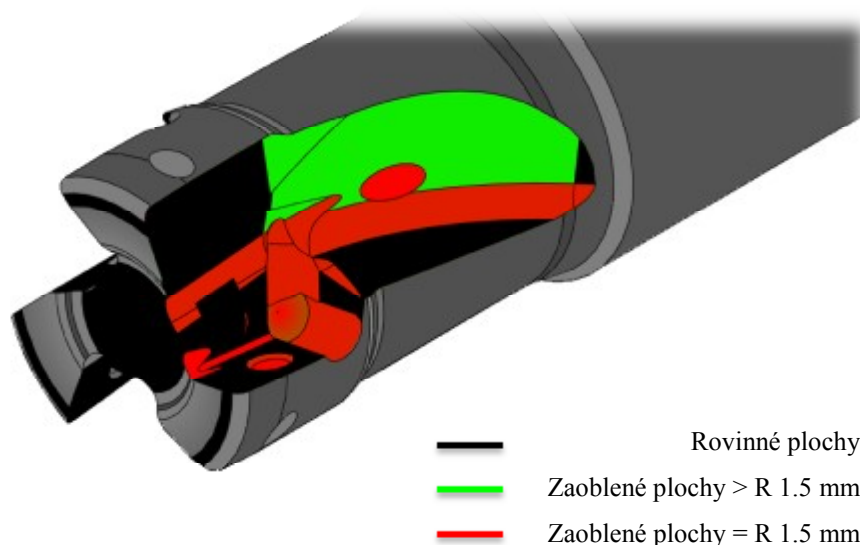
Obr. 16 Grafické zobrazení operací obrábění lůžka čtvrtého makra

4 Aplikace nové technologie výroby

4.1 Počáteční analýza obrobku

Analýza zakřivení ploch

Obrobek se skládá z mnoha odlišných na sebe pod různými úhly navazujícími plochami, plochami zaoblenými a rotačními dírami. Na následujícím Obr. 17 lze vidět jednotlivé plochy a jejich radiální zakřivení.



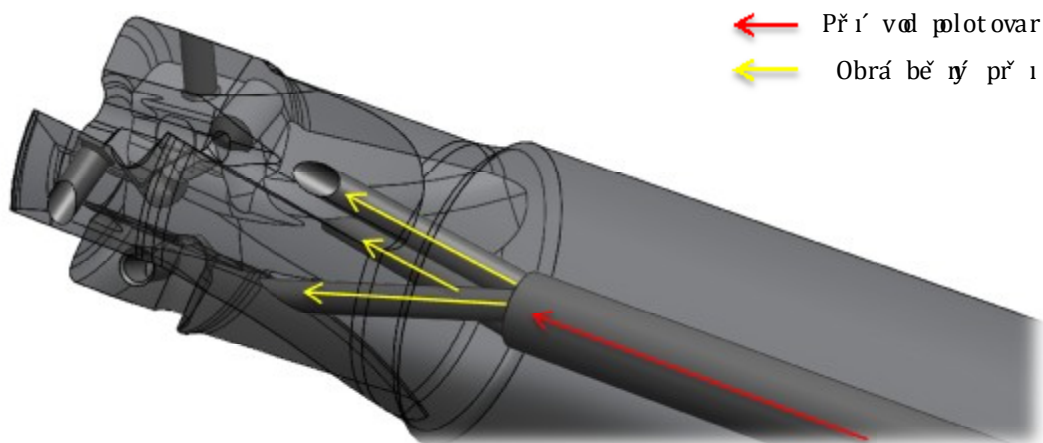
Obr. 17 Rozbor zakřivení ploch

Při tomto rozboru je důležité nalézt nejmenší rádiusy omezující výběr nástrojů pro dokončovací operace obrábění.

Plochy, které jsou označeny červenou barvou, mají radiální zakřivení R1,5 mm s výjimkou vrubové plochy (radiální zakřivení R0,8 mm) a poloměru od přímé plochy dotahu VBD destičky (radiální zakřivení R0,3 mm). Zelené plochy jsou R25 mm. Plochy černé barvy nemají žádné radiální zakřivení, jedná se tedy o prosté rovinné plochy.

Systém vnitřního chlazení

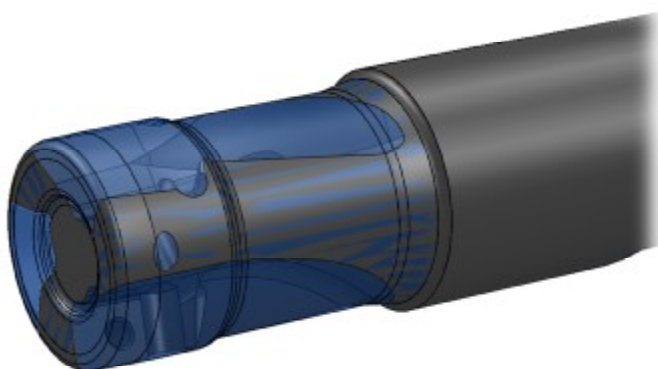
Daný frézovací nástroj disponuje vnitřním chladicím systémem pro přívod chladicího média středem nástroje do místa řezu každé břitové destičky - Obr. 18. Červeně označená část je již součástí polotovaru – předvyrobena spolu s polotovarem. Žlutá část je obráběna spolu s lůžkem.



Obr. 18 Vnitřní chladicí systém

Definice polotovaru

Polotovar má přesné rozměry obrobku bez přídavků a s povrchovou úpravou. Tento polotovar bude použit stejně tak, jako v současném stavu obrábění.



Obr. 19 Sjedení obrobku s polotovarem



4.2 Volba nástrojů

Nástroje jsou voleny tak, aby se redukoval počet použitých nástrojů oproti stávajícímu stavu. Nástroje jsou vybírány převážně z vlastní produkce firmy Pramet Tools. Ostatní nástroje jsou brány od externích dodavatelů.

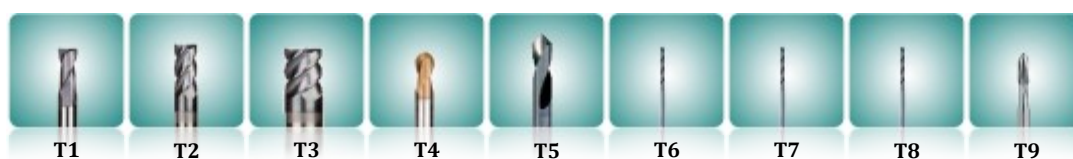
Nová technologie výroby lůžka využívá 9 nástrojů v těchto 6 typech:

- Válcová fréza
- Toroidní fréza
- Kulová fréza
- Středící vrták
- Vrták
- Závitník

Nástroje pro vrtání a závitování jsou dodány od známé prověřené firmy TITEX, která je schopna pojmout požadované nástroje. Středící vrták je od firmy Habilis Steel.

Tab. 9 Nástrojový list nové technologie obrábění

Druh nástroje	Průměr nástroje	Číselné označení	Počet oper. úseků	Nástroj číslo
Válcová fréza	Ø2mm	02E2S40-06,5A03 KEVA	3	T1
Toroidní fréza	Ø3mm	03E4S40-09A03-03 KUVA	5	T2
	Ø14mm	14E4S90-32A14-15 KUVA	3	T3
Kulová fréza	Ø3mm	03B2R60-05A03 KERU	5	T4
Středící vrták	Ø3mm	HS-B-00236	3	T5
Vrták	Ø1.6mm	A6478TML-1.6	1	T6
	Ø2.1mm	A6478TML-2.1	2	T7
	Ø3mm	A6585TFT-3	1	T8
Závitník	Ø2.5mm	B1244-M2.5	1	T9



Obr. 20 Vyobrazení použitých nástrojů



4.3 Počáteční nastavení programu

Při analýze a zhodnocení konstrukce modelu obrobku stopkové frézy je zvolena 2.5D technologie výroby na pětiosém počítačem řízeným obráběcím centru programovaný pomocí programu SolidCAM.



Obr. 21 Model obrobku stopkové frézy

Pro obrobení obrobku jsou uplatněny následující obráběcí nabídky, které nabízí software SolidCAM: Vrtání / Kontura / Kontura 3D / Souvislých více os.

Nejpoužívanější operace je obrábění dle kontury z důvodu nejvhodnějšího vedení nástroje v řezu s ohledem na stavbu ploch.

Operace – kontura

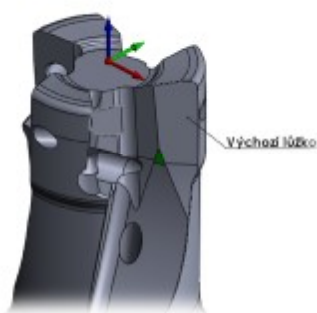
Operace je programována tak, že nástroj je veden po předem definované kontuře. Kontura je zpravidla některý z okrajů obráběné plochy. U složitější plochy se dokresluje křivka a ta se stává konturou pro danou operaci. Průměr nástroje je veden po této kontuře vlevo od ní nebo vpravo popřípadě středem s možností volby přídavku protažením nebo zkrácením. Nájezdy a odjezdy se volí s různými parametry a jsou vázány přímo ke kontuře. Tato operace disponuje dalšími detailnějšími operacemi.

Operace jsou voleny sousledným frézováním, kde břit zubu zabírá náraz. Zuby se méně zahřívají, ostří déle vydrží, proto lze použít větších řezných rychlostí. Při této metodě vznikají větší síly, ale vzhledem k rozměrům obrobku a jeho upnutí to lze akceptovat.

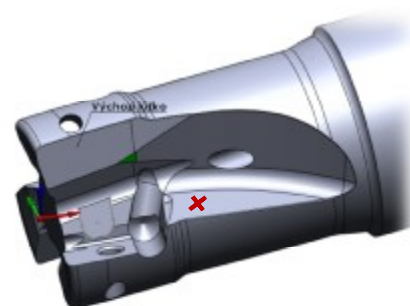
Nastavení nulového bodu

Výchozí nulový bod je nastaven tak, aby byl vhodný pro pětiosou operaci, tedy na střed čela polotovaru Obr. 22a. Pro každou operaci je vytvořena podpoloha nulového bodu s tím, že umístění bodu zůstává a naklápí se pouze osy, tak aby osa Z byla vždy kolmá k obráběné ploše Obr. 22b.

a) Výchozí poloha nulového bodu



b) Podpoloha nulového bodu

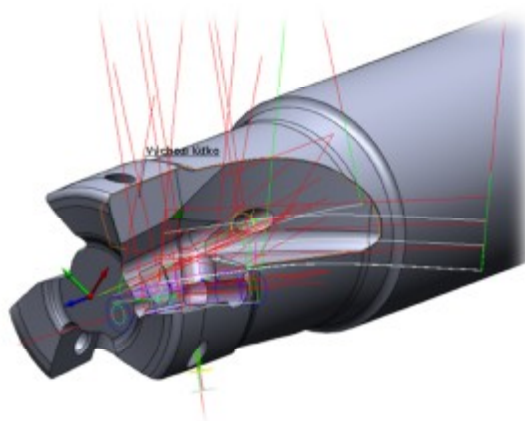


Obr. 22 Poloha nulového bodu

4.4 Zpracování jednotlivých operačních úseků

Výroba jednoho lůžka si vyžádala 24 operací včetně nově zavedeného odjehlení. Operace se člení do sedmi vrtacích cyklů, patnácti konturových operací, jednoho závitování a jedné pětiosé simultánní operace.

Z důvodu přehlednosti a použitelnosti pro firmu Pramet Tools není uvedena průvodní dokumentace softwaru SolidCAM, ale detailní popis jednotlivých operačních úseků. Poupravená průvodní dokumentace je přiložena jako příloha č. 3. Popis jednotlivých ploch a operačních úseku je v příloze č. 4.



Obr. 23 Celkové dráhy nástrojů jednoho lůžka

1. Navrtání vrubu

Operace slouží k navrtání vrubu středícím vrtákem k přesnému vedení následného vrtání vrubu. Hloubka navrtání je na hodnotu průměru 1.4 mm vrtacím cyklem.

Tab. 10 Operace 1 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
1	T5 / Ø3	6897	0,08	65	5



Obr. 24 Operace 1 – vygenerované dráhy a obrobení

2. Navrtání odlehčení I

Operace slouží k navrtání odlehčení I středícím vrtákem k přesnému vedení následného vrtání vrubu. Hloubka navrtání je na hodnotu průměru 2 mm vrtacím cyklem.

Tab. 11 Operace 2 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
2	T5 / Ø3	6897	0,08	65	5



Obr. 25 Operace 2 – vygenerované dráhy a obrobení

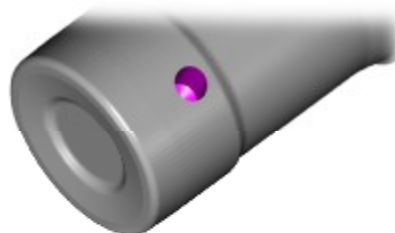
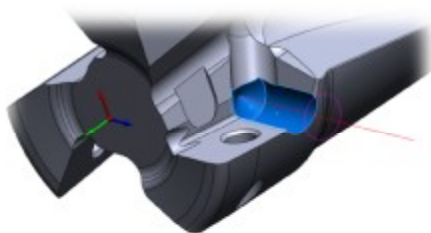


3. Vrtání odlehčení 1

Vrtání je uskutečněno přes navrtání do hloubky 6.123 mm vrtákem průměru 3 mm . Cílem je vytvoření odlehčení nástroje a rozdělení dotahových ploch břitové destičky.

Tab. 12 Operace 3 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
3	T8 / Ø3	9590	0,08	90	5



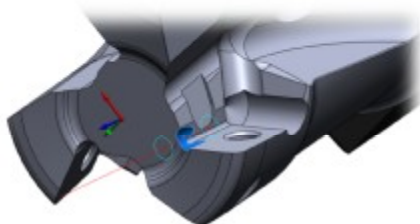
Obr. 26 Operace 3 – vygenerované dráhy a obrobení

4. Vrtání vrubu

Vrtání je opět přes předešlé navrtání do hloubky celého průměru s přídavkem $0,5\text{ mm}$. Vrtání vrubu se provádí za účelem odstranění lokálního výskytu vysokých koncentrací napětí, kdy je vysoká pravděpodobnost lámání lůžka nástroje.

Tab. 13 Operace 4 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
4	T6 / Ø1.6	5968	0,04	30	6



Obr. 27 Operace 4 – vygenerované dráhy a obrobení



5. Zubová mezera

Operací obrobení zubové mezery se odebere největší množství materiálu. Toroidním nástrojem průměru 14 mm s radiusem rohu $1,5\text{ mm}$ hrubujeme s přídkem na stěnu $0,1\text{ mm}$ na 3 kroky. Dokončení je jedním krokem s úběrem 1 mm .

Tab. 14 Operace 5 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
5	T3 / Ø14	1592	0,065	70	29



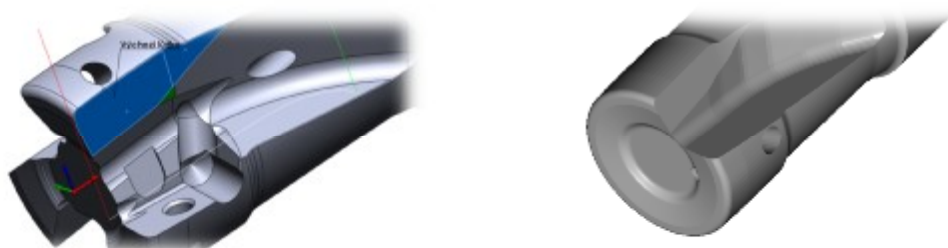
Obr. 28 Operace 5 – vygenerované dráhy a obrobení

6. Hrubování nadlůžka

Operace dokončující obrobení zubové mezery s parametry předchozí operace.

Tab. 15 Operace 6 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
6	T3 / Ø14	1592	0,065	70	10



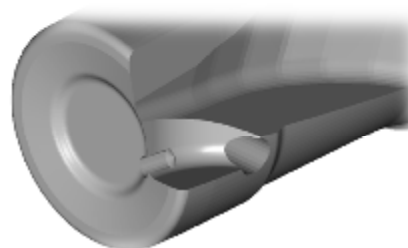
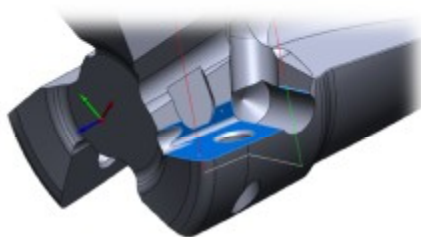
Obr. 29 Operace 6 – vygenerované dráhy a obrobení

7. Hrubování lůžka

S využitím nástroje předchozích operací se odebere na jeden krok největší množství materiálu s přídavkem na dno $0,2\text{ mm}$ a $0,3\text{ mm}$ na stěny.

Tab. 16 Operace 7 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
7	T3 / Ø14	1592	0,065	70	7



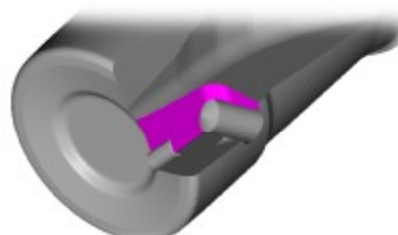
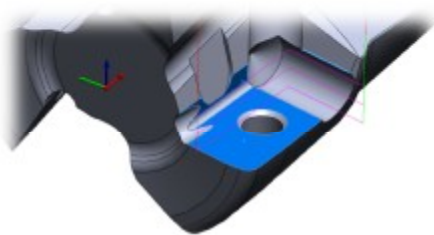
Obr. 30 Operace 7 – vygenerované dráhy a obrobení

8. Dohrubování lůžka

Touto operací je odebrán zbytkový rohový materiál s přídavkem na dno $0,2\text{ mm}$ a $0,1\text{ mm}$ na stěny, který neobrobil předešlý nástroj.

Tab. 17 Operace 8 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
8	T2 / Ø3	7427	0,023	70	10



Obr. 31 Operace 8 – vygenerované dráhy a obrobení



9. Odlehčení 2

Obrábění je provedeno dle standartní kontury kulovou frézou $\varnothing 3\text{ mm}$.

Tab. 18 Operace 9 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
9	T4 / $\varnothing 3$	15915	0,05	150	5



Obr. 32 Operace 9 – vygenerované dráhy a obrobení

10. Odlehčení 3

Operace je provedena 3D konturou kvůli koncovému zakřivení kontury. Řezná rychlost je snížena na hodnotu $v_c = 130\text{ m.min}^{-1}$ s ohledem na koncové zakřivení kontury.

Tab. 19 Operace 10 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
10	T4 / $\varnothing 3$	13793	0,05	130	6



Obr. 33 Operace 10 – vygenerované dráhy a obrobení

11. Odlehčení 4

Obrábění je provedeno dle standartní kontury kulovou frézou $\varnothing 3\text{ mm}$.

Tab. 20 Operace 11 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
11	T4 / $\varnothing 3$	15915	0,05	150	6



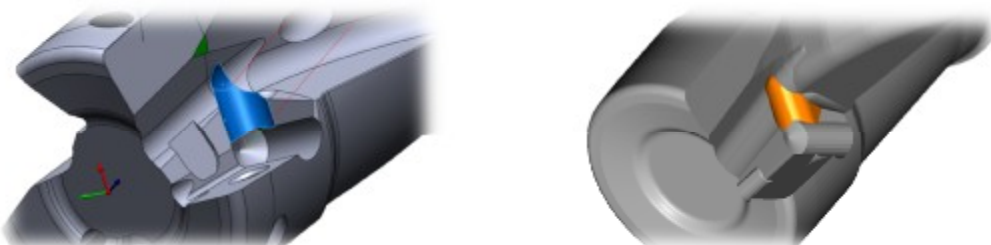
Obr. 34 Operace 11 – vygenerované dráhy a obrobení

12. Odlehčení 5

Operace navazuje a prodlužuje odlehčení 1. Vytvořené odlehčení 1 a 5 slouží zároveň i jako vytvoření místa pro roh a hranu břitové destičky.

Tab. 21 Operace 12 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
12	T4 / $\varnothing 3$	12732	XY 0,04 / Z 0,2	120	6



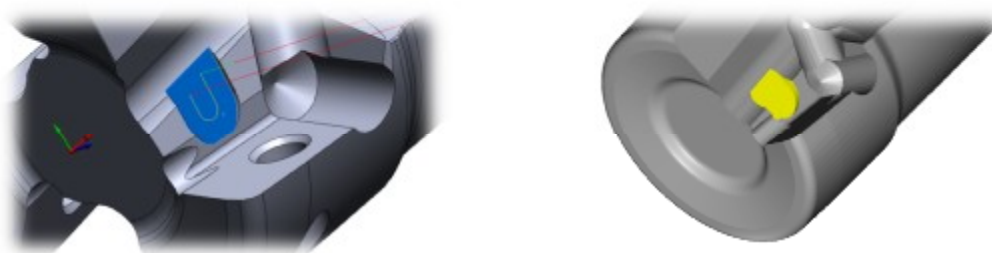
Obr. 35 Operace 12 – vygenerované dráhy a obrobení

13. Rozdělení dotahu B

Tato operace slouží k rozdělení dotahové plochy břitové destičky. Řez probíhá po kontuře tvaru U.

Tab. 22 Operace 13 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
13	T1 / Ø2	11140	0,016	70	6



Obr. 36 Operace 13 – vygenerované dráhy a obrobení

14. Zarovnání za závitem

Jedná se o spirálovité zahrubování zarovnání za závitem pro lepší vedení nástrojů následujících operací. Spirálovitý krok je po 0,2 mm na výsledné kružnici 2,5 mm. Vysvětlení důvodu vložení technologie „zavrtání za závitem“ je v kapitole 5.1.

Tab. 23 Operace 14 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
14	T1 / Ø2	7957	0,01	50	15



Obr. 37 Operace 14 – vygenerování dráhy a obrobení

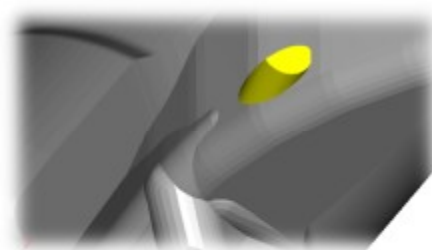
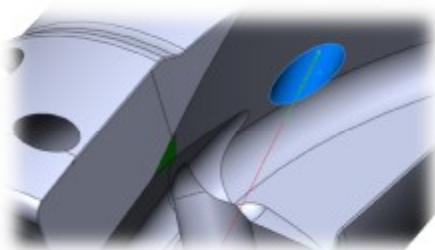


15. Zarovnání vrtání chlazení

Díky spirálovému hrubování do zaoblené stěny zubové mezery dostáváme rovnou plochu pro následující operaci vrtání chladicího otvoru. Spirálovitý krok je po $0,2\text{ mm}$ na výsledné kružnici $2,1\text{ mm}$.

Tab. 24 Operace 15 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
15	T1 / Ø2	7957	0,01	50	8



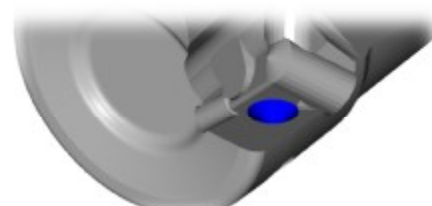
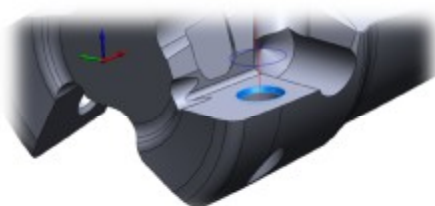
Obr. 38 Operace 15 – vygenerování dráhy a obrobení

16. Navrtání – zkosení upnutí

Operací vrtání se provede navrtání do hloubky průměru $2,6\text{ mm}$ a tím vytvoří i požadované zkosení pro zavádění šroubu.

Tab. 25 Operace 16 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
16	T5 / Ø3	6897	0,08	65	7



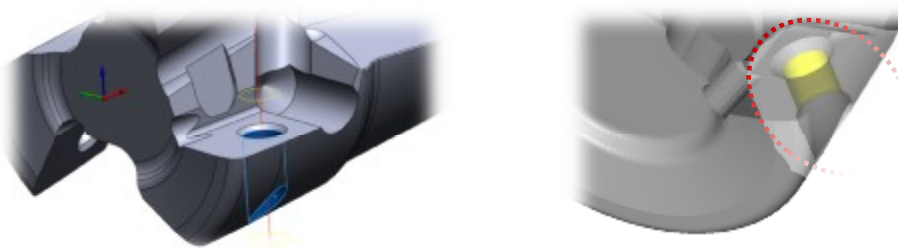
Obr. 39 Operace 16 – vygenerované dráhy a obrobení

17. Vrtání upnutí

Operace vrtání je na 2 kroky, z nichž první je do hloubky 4 mm a druhý do zbytku délky.

Tab. 26 Operace 17 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
17	T7 / Ø2,1	3789	0,02	25	10



Obr. 40 Operace 17 – vygenerované dráhy a obrobení

18. Vrtání chlazení

Vrtání chlazení je provedeno po 4,5 mm v řezu, tedy 5 kroků.

Tab. 27 Operace 18 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
18	T7 / Ø2,1	3789	0,02	25	20



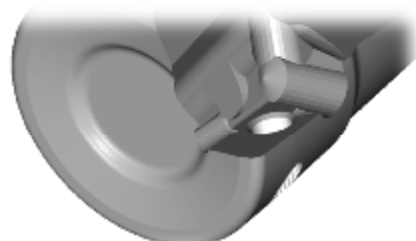
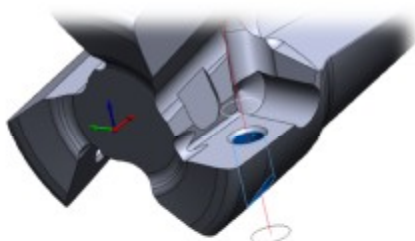
Obr. 41 Operace 18 – vygenerované dráhy a obrobení

19. Řezání závitu

Tato operace využívá závitového cyklu.

Tab. 28 Operace 19 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
19	T9 / M2,5	382	0,4	3	7



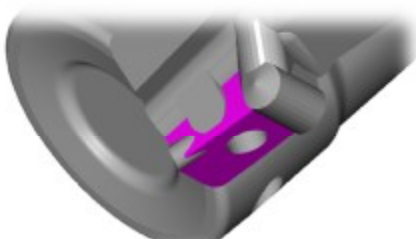
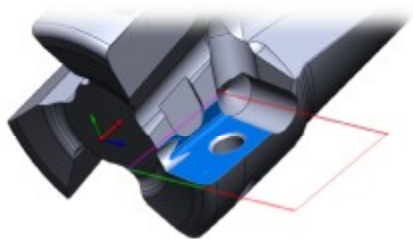
Obr. 42 Operace 19 - vygenerované dráhy a obrobení

20. Dotah A

Tato operace začíná hrubováním dna na hotovo kvůli většímu nepravidelnému zbytkovému materiálu. Dokončení je úběrem 0,1 mm plochy dotahu A.

Tab. 29 Operace 20 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
20	T3 / Ø3	10610	0,01	100	10



Obr. 43 Operace 20 – vygenerované dráhy a obrobení



21. Dotah B

Tato operace začíná hrubováním s přídavkem $0,15\text{ mm}$ a pokračuje dokončením plochy dotahu B. Tato plocha určuje průměrový dotah destičky.

Tab. 30 Operace 21 – technické parametry.

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
21	T3 / Ø3	10610	0,01	100	8



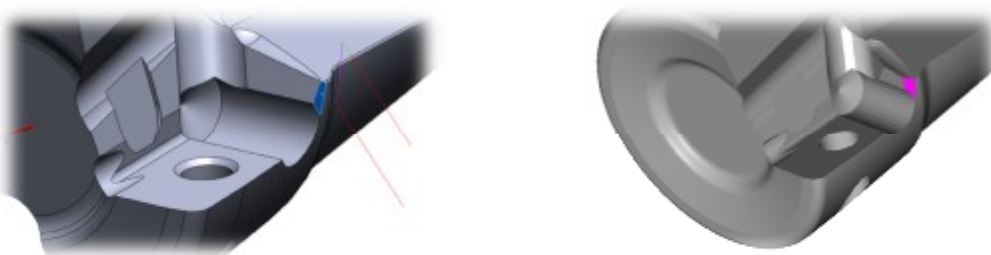
Obr. 44 Operace 21 - vygenerované dráhy a obrobení

22. Zkosení dotahu C

Operace po přímé kontuře na krátké vzdálenosti. Tato plocha má vliv pro dotáhnutí destičky, upravuje její velikost, odstraňuje otřepy.

Tab. 31 Operace 22 – technické parametry

Č.o.	Nástroj [–, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
22	T3 / Ø3	10610	0,01	100	6



Obr. 45 Operace 22 – vygenerované dráhy a obrobení



23. Dotah C

Operace obrábění po kontuře pro dokončení dotahu C.

Tab. 32 Operace 23 – technické parametry

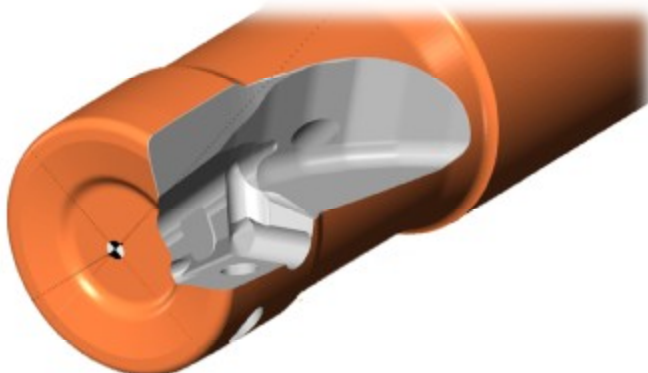
Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Rychlost posuvu f _z [mm.zub]	Řezná rychlost v _c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
23	T3 / Ø3	10610	0,01	100	6



Obr. 46 Operace 23 – vygenerování dráhy a obrobení

4.5 Souhrn nové technologie výroby

Technologie výroby jednoho lůžka je složena z 23 operací včetně dokončovacích s použitím procesní kapaliny tak, jak byla používána dle zkušeností z původní technologie. Celkový čas operací jednoho lůžka dle vygenerované simulace je **3:23 min** bez odjehlení. S přidaným odjehlovacím operačním úsekem je celkový čas výroby jednoho lůžka dle simulace **3:35 min**. Časy jsou uvedeny bez výměn nástrojů!



Obr. 47 Stav po obrobení jednoho lůžka



4.6 Návrh odjehlení ostrých hran lůžkové části

Při obrábění zubové mezery vznikají nepříznivé otřepy na hranách po obrobení. Vzniklé otřepy komplikují následnou povrchovou úpravu. Ostrá hrana se také může jevit jako nebezpečná při manipulaci s nástrojem nebo výměně břitových destiček. Posledním důvodem návrhu odjehlení je stránka vzhledová, která má význačný vliv na prodej těchto nástrojů.

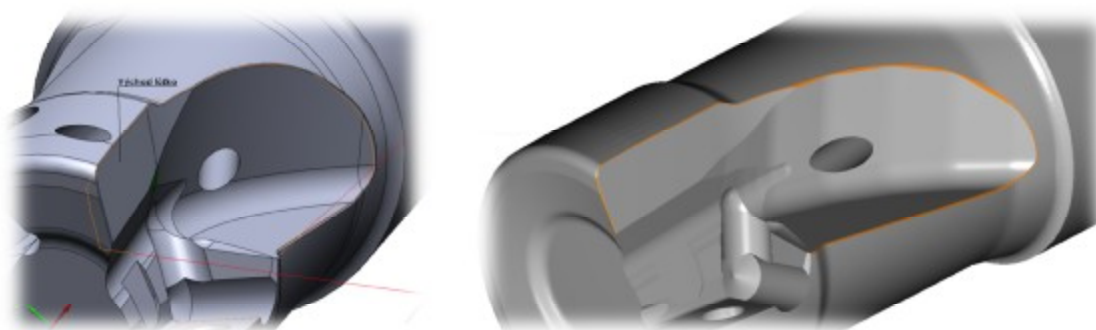
24. Odjehlení zubové mezery

Obrobení je tvořené přes operaci „souvislých více os“ technologií „rovnoběžně s křivkou“. Pro tuto operaci bylo nutné upravit model obrobku a to vytvořením zkosením $0,05\text{ mm}$. Tímto vznikla plocha pro obrobení a definování kontury.

Pracovní plochou je plocha vytvořeného zkosení a kontura je tažena po pravé hraně ve směru obrábění. Způsob řízení osy nástroje je omezen na úhel sklonu: Nástroj v kónických úhlech od řídicí křivky je 75° ; úhel naklopení nástroje 15° od osy Z.

Tab. 33 Operace 24 – technologické parametry

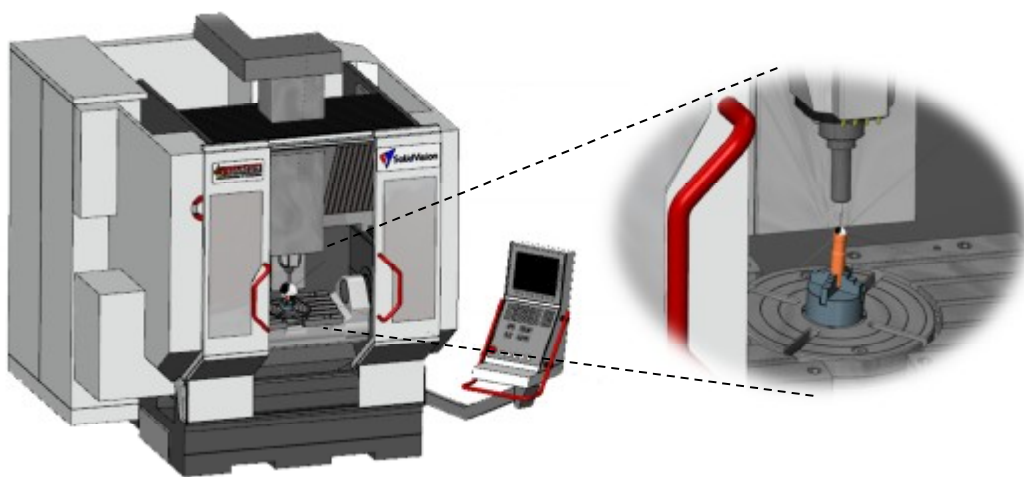
Č.o.	Nástroj [-, mm]	Otáčky n [ot.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm.zub]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Čas obrábění [s]
24	T4 / Ø3	13793	0,02	130	12



Obr. 48 Operace 24 – vygenerované dráhy a obrobení

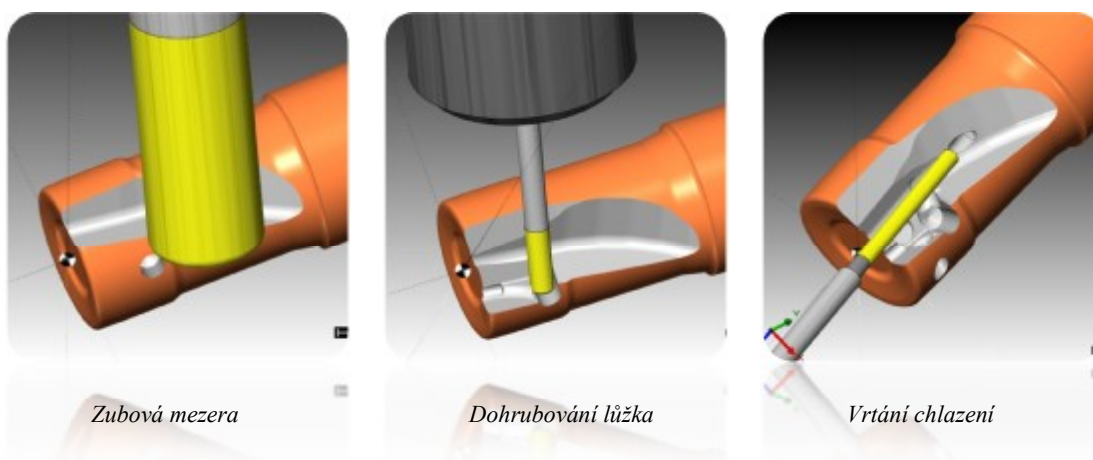
4.7 Simulace stroje

Simulace výroby proběhla na postprocesoru pro obráběcí centrum HERMLE C20 z důvodu absence postprocesoru HERMLE C30. Simulace nezaznamenala žádné vážné kolize, vyjma kolizí nástroje s původním obrobkem. To má za následek změna technologie výroby, kdy nástroj překračuje hranice obráběných ploch.



Obr. 49 Náhled na simulaci stroje HERMLE C20

Několik vyobrazení simulací operačních úseků



Obr. 50 Několik vyobrazení simulací úseků



4.8 Tvorba NC programu

NC program je v softwaru SolidCAM generován do formátu „NC program“ s příponou H a lze otevřít v jakémkoliv textovém editoru a dodatečně provést ruční kontrolu na případné chyby. Tento NC kód byl vygenerován na postprocesoru obráběcího centra HERMLE C40 z důvodu absence postprocesoru HERMLE C30 a nemožnosti generování NC kódu na postprocesoru HERMLE C20.

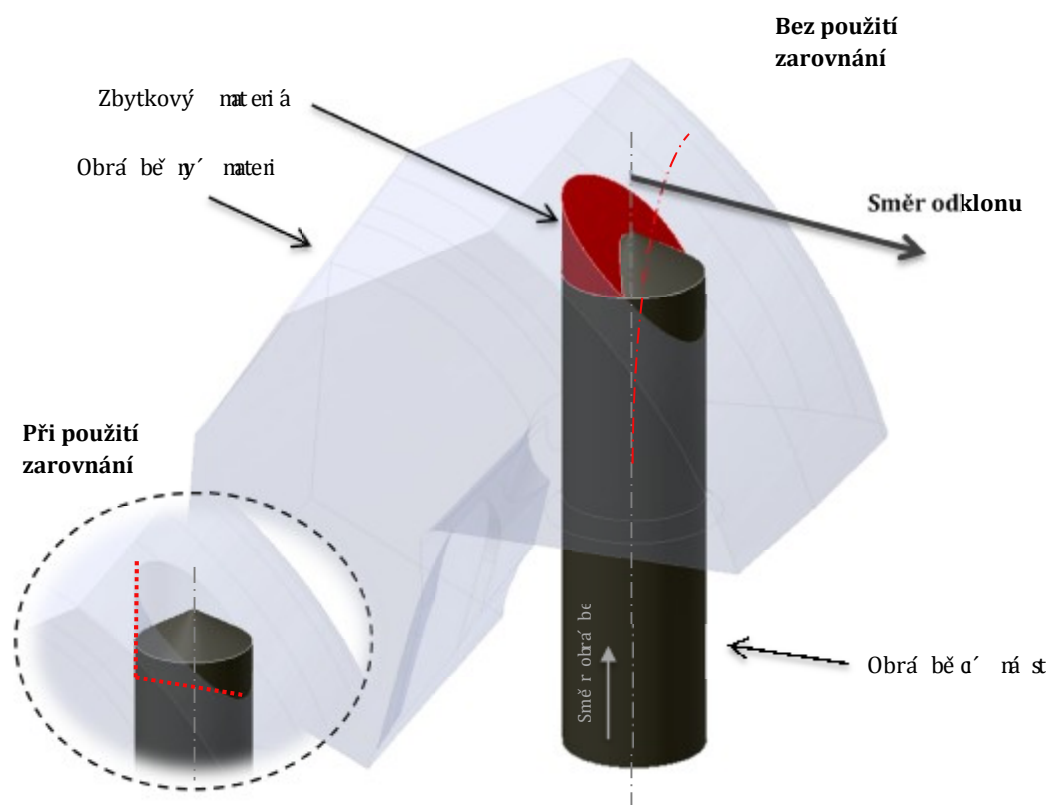
Pro ukázkou je vložena část NC kódu s jedním operačním úsekem vygenerovaným softwarem. Kompletní NC kód je přiložen na digitálním médiu.

```
0 BEGIN PGM 20A3R032B20_SAD11E_C_1_SW7K_2 MM
1 ;M5_H530_SC2010 Ver.:2010_11_19
2 ;Date:09-MAY-2011 Time:19:05:41
3 Q29=0 ;Vynulovani transformace
4 BLK FORM 0.1 Z X-10 Y-10 Z-80.797
5 BLK FORM 0.2 X+10 Y+10 Z+0
6 ;
7 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
8 CYCL DEF 32.1 T0.01
9 ;
10 ;
11 ;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
12 ;X NAVRTANI VRUBU-T5 X
13 ;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14 ;
15 ;>>> MAXIMALNI HLOUBKA Z = 99999 <<<
16 ;
17 TOOL CALL 5 Z S6897 ;HABILIS STEEL
18 ;
19 L X+425 Y+0 R0 FMAX M91
20 L X+0 R0 FMAX M91
21 ;Info - zmena polohy
22 CALL LBL 202 ;Poloha 2 ()
23 ;
24 L X-3.737 Y-2.029 R0 FMAX M3
25 L Z+11.667 R0 FMAX
26 ;
27 CYCL DEF 200 VRTANI ~
28 Q200=2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
29 Q201=-0.7 ;HLOUBKA ~
30 Q206=1103 ;POSUV NA HLOUBKU ~
31 Q202=0.7 ;HLOUBKA PRISUVU ~
32 Q210=0.0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~
33 Q203=-1.391 ;SOURADNICE POVRCHU ~
34 Q204=+13.058 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
35 Q211=0.0 ;CAS. PRODLEVA DOLE
36 ;
37 L X-3.737 Y-2.029 R0 FMAX M99
38 CALL LBL 253
```

5 Zhodnocení různých způsobů programování lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky

5.1 Technologie „zarovnání za závitem“

Toto zarovnání se provádí z technologického hlediska a ochrany nástrojů před zlomením. Pokud by tato technologie nebyla zavedena, nástroj při dokončení operace již neobrábí v plném materiálu, ale pouze po jedné straně (zbytkový materiál). To může vést v případě vrtacího nástroje k vychýlení mimo osu vrtání (špička nástroje je vytlačována materiálem) a v případě závitníku ke zlomení.



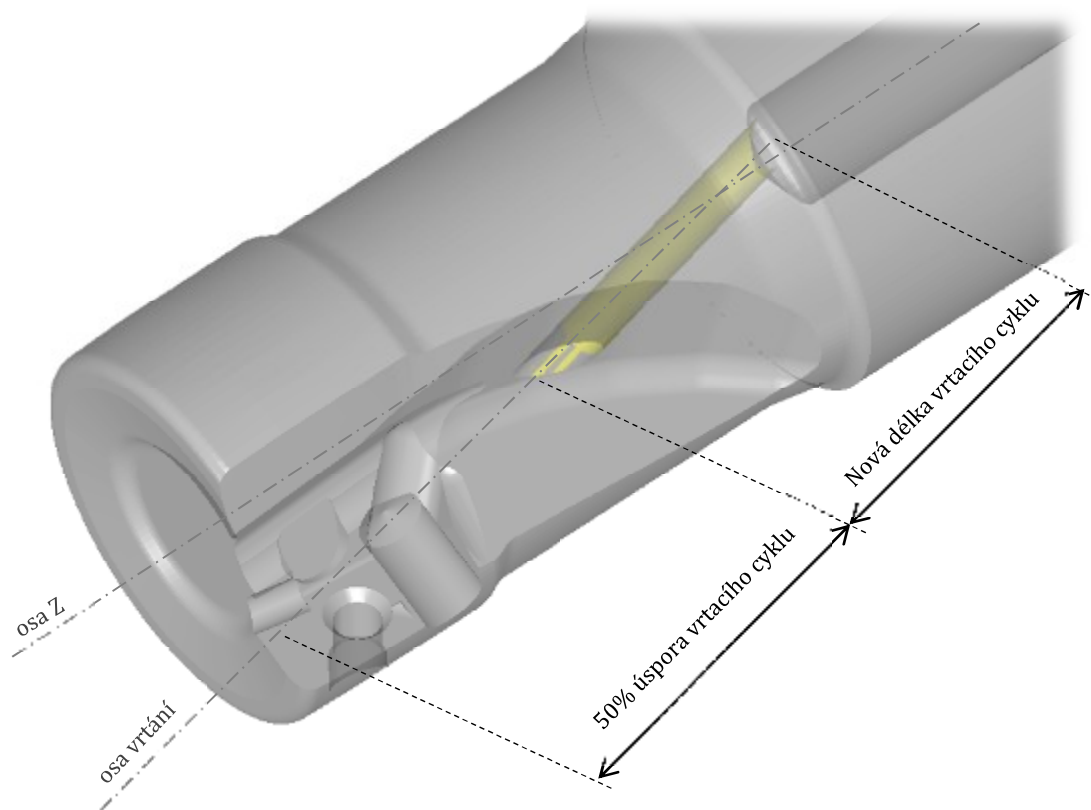
Obr. 51 Problematika zbytkového materiálu

5.2 Strategie vrtání vnitřního chlazení nástroje

Tato technologie vrtání byla pozměněna oproti stávajícímu stavu. Vrtací cyklus stávajícího stavu byl zařazen mezi první operační úseky a probíhá do plného polotovaru. Tím si vyžaduje jak dlouhou řeznou část nástroje, tak i časová délka vrtacího cyklu je delší. S tím je samozřejmě spojena doba otupování ostří nástroje.

Nově navržená technologie vrtacího cyklu vnitřního chlazení je zařazena až po obrobení zubové mezery, tím se dráha vrtací cyklus zkrátí, tedy dojde k téměř 50% úspoře opotřebení vrtacího nástroje a času obrábění.

Aby tato technologie mohla být zavedena, je použita technologie z Kap. 5.1 zarovnání rádiusové plochy, která je nevhodná pro počáteční plochu vrtání.

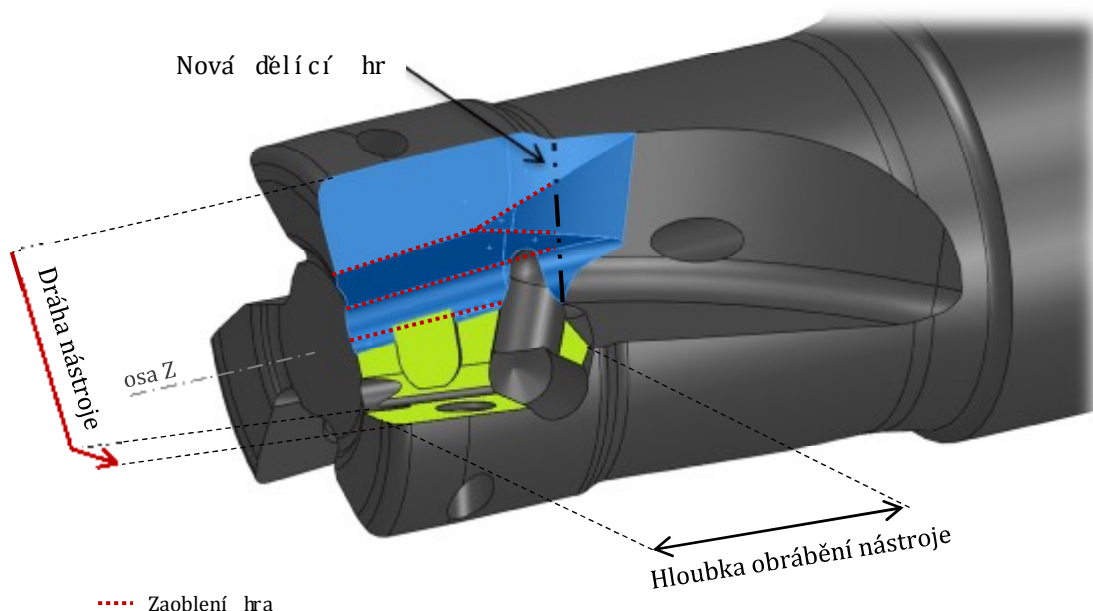


Obr. 52 Strategie vrtání vnitřního chlazení nástroje

5.3 Konstrukční návrh ploch nadlůžkové části

Tento návrh slouží pro vysokorychlostní obrábění, ale našlo by si i uplatnění při konvenčním obrábění. Jedná se o návrh technologa – programátora na změnu technologie a úspory obrábění. Konstruktor těchto lůžek nástrojů musí provést pevnostní a jiné s tím spjaté kontroly a na základě těchto kontrol vyhodnotit návrh za přijatelný.

Nadlůžková část je tvořena spousty ploch, které si vyžadují stejný počet obráběcích operací. Proto vznikl návrh na sjednocení těchto ploch a převedení na víceosé obrábění. Nové sjednocení ploch, na Obr. 53 to jsou plochy modré barvy, pomocí zaoblení a tím nezměnění objemu zubu se vytvoří 3D plocha pro jednotné obrobení nadlůžkové a lůžkové části. Tato plocha by byla zakřivena pouze v závislosti osy Z, nikoliv os X a Y. Při obrábění této plochy by osa Z nástroje byla omezena na jeden pracovní úhel, konala by tedy pouze rotační a posuvný pohyb bez naklápění. Nadlůžková část by byla obrobena nahotovo a u lůžkové části (na Obr. 53 plochy zelenožluté barvy) s desetiným přídavkem. Tato nová 3D plocha by byla vhodná pro vysokorychlostní obrábění.



Obr. 53 Konstrukční návrh ploch nadlůžka



Toto řešení by mohlo přinést několik zlepšení technologie výroby lůžek nástrojů. Konkrétně by se jednalo o tyto výhody

- možnost využití vysokorychlostního obrábění
- sloučení několik operací obrábění v jednu
- další úspora výměn nástrojů (odhad snížení o 2 výměny)
- příznivější plocha pro povlakování

Nevýhodou by samozřejmě byla nutnost přepracování celé konstrukce lůžka nástroje a vytvoření nového programu pro obrábění.



6 Návrh vysokorychlostní metody obrábění

Pro vysokorychlostní metodu obrábění je nutné použít nové CNC obráběcí centrum, než je používán nyní. Toto obráběcí centrum musí dosahovat vyšší řezné a mnohonásobně vyšší posuvové rychlosti.

Stavba a velikost jednotlivých ploch na obráběném obrobku nedovoluje plné využití vysokorychlostního obrábění z důvodu velice krátkých drah obrábění. Avšak nacházejí se zde plochy, kde lze těchto rychlostí adekvátně využít a to:

- oblast zubové mezery
- nadlůžková část
- popřípadě nově navržená nadlůžková část (viz 5.2)

S touto metodou obrábění odpadá i nutnost použití řezné kapaliny. To má za následek odstranění nákladů na řeznou kapalinu a příznivý vliv na ekologickou stránku.

Na již zmíněných plochách po zavedení nového CNC obráběcího centra a nástrojů lze zkrátit čas výroby a díky nově zvoleným řezným podmínkám i kvalitu (integritu) obrobené plochy. Kvalita obrobku je závislá především na tvarové a rozměrové přesnosti, vlastnostech metalurgických určovaných materiálem a jeho zpracováním a samozřejmě na vlastnostech povrchu. Funkční vlastnosti povrchu popisuje určitý soubor charakteristik, který je označován právě jako integrita povrchu. K těmto charakteristikám se řadí především:

- topografie povrchu (geometrické charakteristiky povrchu)
- zbytková pnutí (strukturní a fyzikálně-chemické změny v povrchové vrstvě)
- zpevnění povrchu
- velikost, průběh a smysl reziduálních pnutí

Vysokorychlostní metoda obrábění má značný pozitivní vliv na integritu povrchu.



6.1 Návrh vysokorychlostního obráběcího centra

Tímto úkolem je navrhnout obráběcího centra pro obrábění v režimu vysokorychlostního obrábění. Na volbu obráběcího stroje mají vliv zejména tyto následující činitele:

- druh obrábění (soustružení, frézování, apod.),
- množství obráběných součástí
- rozměry pracovního pojezdu x/y/z
- upínací plocha stolu
- rozsah řezných podmínek
- skutečný výkon obráběcího stroje
- přesnost a tuhost obráběcího stroje
- cena obráběcího stroje



Obr. 54 Výběr obráběcího CNC centra

Ve velkosériové a hromadné výrobě se zpravidla musí přihlížet zejména k pracovnímu taktu a k výkonosti obráběcího stroje při dané operaci. Má být vybrán vhodný obráběcí stroj pro konkrétní výrobní zakázku, musí se přihlížet zejména k produktivitě a hospodárnosti výroby, kterou bude obráběcí stroj realizovat. (16)



6.1.1 Obráběcí centrum firmy DMG

Firma DMG nabízí obráběcí centra pro nejrůznější druhy obrábění. Od soustružení, frézování po obrábění laserem. Nás zajímá frézovací technologie přesného vysokorychlostního obrábění. Tato oblast nabízí čtyři obráběcí centra dle velikosti obráběcí plochy.

Obráběcí centra DMG HSC 20/55/75/105 linear disponují lineárními pohony ve všech osách s více jak 2g zrychlením a kvalitou povrchu až Ra 0,2μm, tím představují nejvyšší přesnost a dynamiku.

Tab. 34 Základní technické parametry DMG

Technická data	HSC 20 linear	HSC 55 linear	HSC 75 linear	HSC 105 linear
Pojezd x/y/z [mm]	200/200/280	450/600/400	885/600/600	1110/800/600
Otáčky vřet [ot/min]	42.000	28.000	18.000	18.000
Rychloposuv x/y/z [m/min]	40/40/40	80/80/80	90/90/90	90/90/90
Upínač ploch [mm]	380 x 320	460 x 600	950 x 650	1200 x 850

Doporučené obráběcí centrum firmy DMG je vysokorychlostní obráběcí centrum HSC 55 linear, který splňuje předpoklady pro vysokorychlostní obrábění dané součásti.



Obr. 55 Vysokorychlostní obráběcí centrum DMG HSC 55 linear (17)



6.1.2 Obráběcí centrum firmy HERMLE

Firma již vlastní stroje této značky, proto se nabízí nabídka této stejné značky pro volbu nového a výkonnějšího obráběcího stroje. S parametry vysokorychlostního obrábění. Možnosti výhodnější finanční nabídky.

Technická data	Hermle C30
Pojezd x/y/z [mm]	650/600/500
Otáčky vřetě [ot/min]	28.000 – 40.000
Rychloposuv x/y/z [m/min]	60/60/60
Upí na plochu [mm]	540 x 540



Obr. 56 Obráběcí centrum HERMLE C30 (18)

6.1.3 Obráběcí centrum firmy MAZAK

Toto pětiosé svislé frézovací obráběcí centrum od firmy Yamazaki MAZAK je určeno pro kompletní obrábění malých a středních obrobků. Je vysokorychlostní pětiosé svislé obráběcí centrum s lineárními motory na osách X, Y, Z a prstencovými motory na osách A a C.

Tab. 35 Základní technické parametry stroje MAZAK

Technická data	Hyper Variaxis 630
Pojezd x/y/z [mm]	630/1100/600
Otáčky vřetě [ot.min ⁻¹]	18.000 – 35.000
Rychloposuv x/y/z [m.min ⁻¹]	80/80/80
Upí na plochu [mm]	630 x 500



Obr. 57 Obráběcí centrum firmy Mazak (18)



6.2 Zhodnocení návrhu obráběcího centra

Pro výběr z výše uvedených se nabízí nejvýhodnější obráběcí CNC centrum firmy DMG se svým modelem **HSC 55 linear**, který je předurčen pro výrobu v režimu vysokorychlostního obrábění. Splňuje předpoklady otáček vřetena ($28.000 \text{ ot.min}^{-1}$) i posuvovou rychlostí (80 m.min^{-1}). Firma nabízí i představení svých výrobků ve svém předváděcím centru a své budoucí zákazníky vřele uvítá.

Během vzniku této diplomové práce se objevila i nabídka firmy HERMLE se svým modelem C42, kterou nabídla firmě Pramet Tools na základě jejich dlouholeté spolupráce.

HERMLE C42 se vyznačuje jako vysoce dynamické obráběcí centrum, které bylo ještě důsledněji dimenzováno pro pětiosé / pěti stranné obrábění. Centrum má pracovní rozsah $800 / 800 / 550 \text{ mm}$, to se může jevit jako neekonomické v porovnání se sortimentem firmy. Budoucnost je však plně otevřena pro rozvoj této firmy.



Obr. 58 Obráběcí centrum firmy HERMLE C42 (19)



7 Technicko-ekonomický přínos navrhovaného řešení

7.1 Přínos v oblasti výměny a použití nástrojů

V této oblasti vznikl velký přínos oproti stávajícímu stavu technologie obrábění. Počet výměn nástroje se zredukoval ze 17 na 10 výměn nástrojů. Snížení nastalo i v počtu využitých nástrojů a to z 15 na 9 nástrojů.

Názorné ukázání úspory je předvedeno na výpisu použití čísel nástrojů tak, jak jdou po sobě při výrobě jednoho lůžka. Jaké nástroje jsou pod těmito číslicemi, je uvedeno v tabulkách Tab. 3 a Tab. 9.

Tab. 36 Úspory v oblasti výměny a použití nástrojů

		Grafické znázornění výměny		
		<div> <div></div> nové <div></div> současn </div>		
1	5			821
2	5			11
3	8			302
4	6			821
5	3			312
6	3			9
7	3			2
8	2			2
9	4			2
10	4			255
11	4			223
12	4			21
13	1			22
14	1			255
15	1			255
16	5			255
17	7			130
18	7			129
19	9			321
20	2			9
21	2			14
22	2			827
23	2			827
24	4			827
25				827
10 + 1		Počet výměn		17
9		Počet nástrojů		15

Úspora výměn

7

Úspora nástrojů

6

← Odjehlení



Z předešlé tabulky vyšla 41% úspora výměnného cyklu nástrojů a 40% úspora použitých nástrojů.

Tyto zjištěné úspory výměn nástrojů ušetří čas a tím spojené náklady na provoz CNC obráběcího centra. Tím, že se zkrátí čas výroby jednoho nástroje, může obráběcí centrum vyrobit více kusů. To znamená další přínos do výroby.

Rozpočet úspory výměny nástrojů

„Hodnoty jsou vztažené k 02/2011“

Hodinová sazba stroje:	1 803,60 Kč (30,06 Kč / min)	
Průměrný čas potřebný pro 1 výměnu nástroje:	Hrubovací nástroj	6 s
	Dokončovací nástroj	19 s
Počet obráběných nástrojů daného typu:	200 ks / měsíc	
Počet ušetřených výměn:	7 (Hrub. 6 a Dok. 1)	
<hr/>		
Časová úspora (1 nástroj):	55 s	
Finanční úspora (1 nástroj):	27,56 Kč	
Časová úspora měsíční:	3,06 hod	
Finanční úspora měsíční:	5 511 Kč	
Časová úspora roční:	36,67 hod	
Finanční úspora roční:	66 132 Kč	

Pokud by byla měsíční výroba v jednom roce 200 kusů daných nástrojů, roční úspora by činila přibližně **66 000 Kč** pouze při úspoře výměn nástrojů.



7.2 Úspora operačních úseků

Současná technologie obrábění používá 25 operačních úseků. Nová technologie výroby lůžka nástroje si vystačí s 23 operačními úseky plus jedním novým přidaným pro odjehlení. Celkem tedy 24 operačních úseků. Toto snížení operačních úseků vyvolá další snížení časů pro obrábění jednoho lůžka.

7.3 Úspora vrtacího cyklu vrtání vnitřního chlazení

Časovou úsporu dovedla změna technologie vrtání vnitřního chlazení, která je popsána v Kap. 5.2. Dráha vrtacího cyklu se zkrátila o necelých 50% času.

7.4 Úspora při návrhu strojního odjehlení ostrých hran lůžkové části

Tento návrh na strojní odjehlení ostrých hran lůžkové části odstraní potřebu ručního odjehlování. Ruční odjehlování sebou nese riziko poškození funkčních ploch lůžkové části obsluhou – dotahové plochy vyměnitelné břitové destičky. Nutnost zaškolování pracovníka, Možnost nesouměrného odjehlení.

Strojní odjehlení přináší výhodu ve formě úspory času této operace a definuje jednotný styl odjehlené hrany.

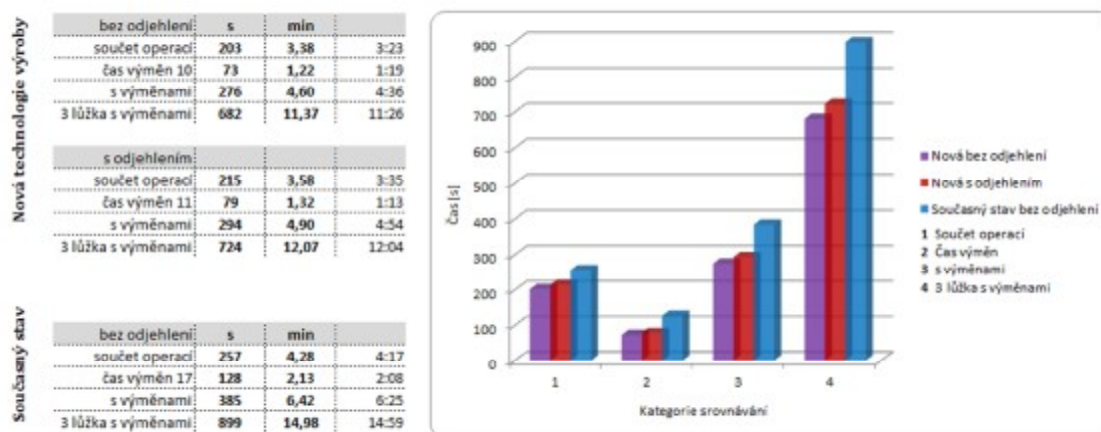
7.5 Porovnání výrobních časů současné a nové technologie

K porovnání výrobních časů současné technologie výroby a nově navržené technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky nemohlo dojít z důvodu vypracování NC kódu ve studijní verzi, která není určena pro přímou ostrou výrobu v praxi. Neobsahuje adekvátní postprocesory pro danou výrobu.

Snaha o doplnění požadovaného postprocesoru, který by měl parametry daného CNC obráběcího centra HERMLE C30 s možností generování 3 typů NC kódů, byla neúspěšná.



Z těchto výše zmiňovaných důvodů je zde uvedený pouze hrubý odhad porovnání simulovaných výrobních časů současného stavu obrábění a nové technologie obrábění lůžek nástrojů. Časy simulovaného současného stavu obrábění nebyly k dispozici kompletní (pouze $\frac{3}{4}$ časů) při vygenerování ze softwaru NX CAM, proto byly doplněny tak, aby co nejvíce odpovídali simulovaným hodnotám a mohlo dojít k porovnání dvou metod obrábění.



Obr. 59 Hrubý odhad časové úspory technologií obrábění

Z uvedené tabulky porovnání současného stavu a nové technologie obrábění lůžek nástrojů vyšlo, že hrubá odhadovaná časová úspora je 20%.



8 Závěry pro realizaci v praxi

Nově navržená technologie výroby lůžek nástrojů umožnila získat již vyjmenované technicko-ekonomické přínosy (viz Kap. 7). Firma považuje tyto přínosy za velmi zajímavé a přínosné, proto na základě těchto přínosů a nemožnosti otestování NC kódu programu SolidCAM se rozhodla o vlastní testování této nové technologie a zadala svým CAM programátorům vypracování NC kódu ve vlastním používaném CAM softwaru NX CAM dle parametrů a technologií operačních úseků této diplomové práce.

Výsledky a přeprogramování v CAM softwaru NX CAM bohužel nebyly vyhotoveny do termínu ukončení této textové části diplomové práce, proto zde nejsou uvedeny výsledky vlastního testování firmy Pramet Tools s.r.o.

Firma Pramet Tools s.r.o. je odhodlána při dobrých výsledcích vlastního testování tuto technologii zavést do výrobního procesu, protože očekává několikanásobné zvýšení své produkce těchto typů lůžek pro vyměnitelné břitové destičky. Tato nová technologie by přispěla k pojmутí zvýšené produkce s úsporou nákladů na výrobu.



Závěr

Diplomová práce se zabývala návrhem nové technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky a v první praktické části je zjednodušený popis současného stavu obrábění s vyobrazenými některými operačními úseky, kde je možno srovnání se stavem nové technologie výroby.

Programování nové technologie výroby těchto lůžek bylo provedeno v CAM programu SolidCAM. Tento program umožňuje i počáteční analýzu obrobku. Byla provedena analýza zakřivení ploch, vyobrazení vnitřního systému chlazení a přesné definice polotovaru. Tento rozbor vedl k volbě strategie, tedy nové technologie obrábění lůžka. Navoleny byly i potřebné obráběcí nástroje. Zvolena byla technologie 2.5D obrábění na pětiosém počítačem řízeném obráběcím centru. Pro obrobení obrobku jsou uplatněny obráběcí nabídky, které nabízí software SolidCAM: Vrtání / Kontura / Kontura 3D / Souvislých více os. Nastavení nulového bodu je na středu válcové plochy čela polotovaru a tento bod si uchovává při celém programování. Jen si mění směry os dle obráběných ploch tak, aby osa Z byla vždy vhodně nastavena ve směru obrábění. Po těchto nastaveních mohla vzniknout nová technologie výroby lůžek nástrojů pro vyměnitelné břitové destičky. Tato **nová technologie si vyžádala 3:35 min pro obrobení jednoho lůžka s odjehlením** bez přičtení času výměn nástrojů. Bez odjehlení to je 3:23 min. S výměnami nástrojů, s odjehlením a výroby třech lůžek to je celkem 12:04 min výrobního času. Kompletní rozpis časů dle simulace programu SolidCAM je uveden v tabulce Tab. 37 níže.

Tab. 37 Rozpis výsledných časů výroby nové technologie výroby lůžek

Nová technologie bez odjehlení	Čas [s]	Čas [min]	Nová technologie s odjehlením	Čas [s]	Čas [min]
Součet operací	203	3:23	Součet operací	215	3:35
S výměnami	276	4:36	S výměnami	294	4:54
3 lůžka s výměnami	688	11:26	3 lůžka s výměnami	724	12:04

Tato nová technologie výroby lůžek přinesla spoustu rozličných výhod pro výrobu. První z nich je určitě úspora výměn nástrojů mezi jednotlivými operačními úseky, kde **úspora je o 41% v počtu výměn**. To přesněji dělá 7 mezioperačních výměn na výrobu jednoho lůžka neboli celého nástroje. S tímto je souvislá i úspora v použití rezných nástrojů. Tady **úspora nástrojů je 40%**, tedy 6 nevyužitých nástrojů oproti



současnému stavu. Nová strategie vrtání vnitřního chlazení nástroje byla taky velkým přínosem, konkrétně **50% úspora zkrácení dráhy vrtacího cyklu** a opotřebení ostří vrtacího nástroje. Pokud by byl zaveden konstrukční návrh ploch nadlůžkové části (Kap. 5.3), mělo by dojít k dalším úsporám jak časovým, tak výměn nástrojů a zlepšení integrity povrchu.

Při srovnání současné a nové technologie obrábění došlo k hrubé simulované časové úspoře 20%.

Pokud sečteme všechny úspory, dostaneme se k času, který se dá investovat do výroby dalších kusů obrobků nástrojů.

Poslední částí diplomové práce bylo navrhnutí přechodu konvenčního obrábění do vysokorychlostního. **V dané situaci konstrukce lůžka obrobku nemá nějaký zásadní význam zavedení vysokorychlostního obrábění** z důvodu četnosti krátkých drah nástroje. Vysokorychlostní obrábění by však do současného stavu zakomponovat šlo a to do dvou operačních úseků: obrábění zubové mezery a nadlůžka. Tyto dráhy jsou charakterově delší oproti ostatním a mají zcela otevřené nájezdy a odjezdy. Na toto téma navazuje i výběr vysokorychlostního obráběcího centra. Jako nejvýhodnější se nabízí **obráběcí CNC centrum firmy DMG se svým modelem HSC 55 linear**, který je předurčen pro výrobu v režimu vysokorychlostního obrábění. Splňuje předpoklady otáček vřetena (28.000 ot.min⁻¹) i posuvovou rychlostí (80 m.min⁻¹).



Citovaná literatura

1. **PRAMET.** Historie a dnes. *Pramet Tools s.r.o.* [Online] [Citace: 15. 11 2010.] <http://pramet.com/indexad49.html?menu=firma1>.
2. **AV ENGINEERING, a.s.** <http://www.aveng.cz>. *AV ENGINEERING.* [Online] 2011. [Citace: 1. 2 2011.] <http://www.aveng.cz/media/677463/ncg1.jpg>.
3. **BRYCHTA, J. - ČEP, R. - SADÍLEK, M. - et al.** *Nové směry v progresivním obrábění.* Ostrava : Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. str. 251. 978-80-248-1505-3.
4. **OTÁHAL, D.** *Progresivní metody frézování a jejich vliv na proces řezání.* Ostrava : Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. str. 40. 97-80-248-1455-1.
5. **ZEMAN, P. - ŠAFEK, J. - VANĚČEK, D.** *Technik. Technologie HSC.* [Online] 16. 8 2002. [Citace: 23. 2 2011.] http://technik.ihned.cz/c4-10004030-11353150-800000_d-technologie-hsc.
6. **SKOPEČEK, T.** HSC a bezpečnost práce. *MM Průmyslové spektrum. Trendy / Obrábění*, 2005, Sv. MM 2005/12.
7. **SCHULZ, H. - MORIWAKI, T.** *High – speed machining.* místo neznámé : Ann. of the CIRP, 1992. str. 637.
8. **NOVÁK, Z.** Nové řezné nástroje do výroby. *MM Průmyslové spektrum. Trendy / obrábění*, 2006, Sv. MM 2006/6.
9. **B3KOVO.** O CNC technologii. *Kovoobrábění, Kovovýroba – B3 kovo.* [Online] 2007. [Citace: 26. 3 2011.] <http://b3kovo.cz/cnc-informace-1d5d/>.
10. **DELCAM BRNO, s.r.o.** 5-osé frézování. *Delcam.* [Online] 2010. [Citace: 26. 3 2011.] <http://www.delcam.cz/produkty/powermill/5-ose-frezovani/>.
11. **-gef-**. Nové funkce pro pětiosé obrábění. *MM Průmyslové spektrum. Trendy / Obrábění*, 2004, MM 2004/5.
12. **SADÍLEK, M.** *CAM systémy v obrábění I.* (1.vyd.). Ostrava : VŠB-TU Ostrava Fakulta strojní, 2008. str. 153. ISBN 978-80-248-1821-4.



13. **PRAMET.** ADMX nová generace nástrojů s destičkami ADMX11. *Letáky - Obrábění*. [Online] [Citace: 10. 3 2011.] www.pramet.com.
14. **BEŇO, J.** *Teoretické základy inovačních technologií*. Košice : Technická Univerzita Košice, Strojnícka fakulta, 2010. str. 174. ISBN 978-80-553-0449-6.
15. **FERONA.** Materiálové normy. *Ferona a.s.* [Online] 2011. [Citace: 15. 4 2011.] http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php.
16. **BRYCHTA, J.** *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003. str. 150. ISBN 80-248-0237-6.
17. **DMG.** HSC 55 linear. *DMG | technologies for tomorrow*. [Online] [Citace: 11. 4 2011.] <http://cz.dmg.com/en/milling,hsc55linear?opendocument>.
18. **HERMLE.** Obráběcí centra konstrukční řady C. *HERMLE C42*. [Online] [Citace: 28. 4 2011.] <http://www2.hermle.de/index.php5?1632>.
19. **MISAN.** Hyper VARIAXIS 630. *Misan: Obráběcí stroje a nástroje*. [Online] [Citace: 12. 4 2011.] <http://www.misan.cz/mazak/katalog-detail/hypervrx630-hyper-variaxis-630/?viewpart=2>.
20. **CIMR, I.** Speciální modul pro obrábění tvarových ploch. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] Digitovarna.cz, 17. 5 2010. [Citace: 10. 3 2011.] <http://www.digitovarna.cz/100637>.
21. **SOLIDCAM.** High Speed Machining [HSM]. *SolidCAM*. [Online] [Citace: 10. 3 2011.] <http://www.solidcam.com/cz/produkty/hsm-vysokorychlostni-obrabeni.html>.
22. **SOLIDCAM.** High Speed Surface Machining [HSS]. *SolidCAM*. [Online] [Citace: 10. 3 2011.] <http://www.solidcam.com/cz/produkty/hss-obrabeni-povrchu.html>.
23. **REDAKCE.** Představujeme NX 7.5 – 4. část: Podpora obrábění. *CAXMiX*. [Online] [Citace: 10. 3 2011.] <http://www.caxmix.cz/2010/10/22/predstavujeme-nx-7-5-%E2%80%93-4-cast-podpora-obrabeni/>.
24. **URBAN, J.** Rychlé a přehledné programování CNC strojů s NX CAM Express. *Digitovárna*. [Online] [Citace: 29. 4 2011.] <http://www.digitovarna.cz/80128>.



SADÍLEK, M. *Vyspělé strategie ve 3D frézování*, MM Průmyslové spektrum, 2004, č.12, s. 46,47. ISSN 1212-2572.

NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J. – et al. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.

ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha, 2008, 128 s. (2. dotisk 1. vyd.), ISBN 978-80-7300-207-7



Seznam obrázků

Obr. 1	Cíle diplomové práce	12
Obr. 2	Oblast působení firmy ve světě (1)	13
Obr. 3	Frézování tvarových ploch (2)	14
Obr. 4	Síla řezání a její rozklad (3)	15
Obr. 5	Realizace řezného procesu (3)	16
Obr. 6	Tvorba třísky u „klasické“ a „HSC technologie“ (3)	19
Obr. 7	Tvarová fréza pro obrábění rybinových drážek (8).....	22
Obr. 8	Obráběcí centrum HERMLE C20 (19)	24
Obr. 9	Pětiosé frézování (10)	25
Obr. 10	Prostředí programu SolidCAM 2010.....	26
Obr. 11	Nová břitová destička Pramet ADMX pro frézování (13)	27
Obr. 12	Polotovar obráběné frézy.....	28
Obr. 13	Stopková fréza SAD11E.....	29
Obr. 14	Rozdělení maker současného stavu obrábění	30
Obr. 15	Hrubování mezery nadlůžka.....	33
Obr. 16	Grafické zobrazení operací obrábění lůžka čtvrtého makra	35
Obr. 17	Rozbor zakřivení ploch.....	36
Obr. 18	Vnitřní chladič systém.....	37
Obr. 19	Sjednocení obrobku s polotovarem	37
Obr. 20	Vyobrazení použitých nástrojů.....	38
Obr. 21	Model obrobku stopkové frézy.....	39
Obr. 22	Poloha nulového bodu	40
Obr. 23	Celkové dráhy nástrojů jednoho lůžka	40
Obr. 24	Operace 1 – vygenerované dráhy a obrobení	41
Obr. 25	Operace 2 – vygenerované dráhy a obrobení	41
Obr. 26	Operace 3 – vygenerované dráhy a obrobení	42
Obr. 27	Operace 4 – vygenerované dráhy a obrobení	42
Obr. 28	Operace 5 – vygenerované dráhy a obrobení	43
Obr. 29	Operace 6 – vygenerované dráhy a obrobení	43
Obr. 30	Operace 7 – vygenerované dráhy a obrobení	44
Obr. 31	Operace 8 – vygenerované dráhy a obrobení	44



Obr. 32	Operace 9 – vygenerované dráhy a obrobení	45
Obr. 33	Operace 10 – vygenerované dráhy a obrobení	45
Obr. 34	Operace 11 – vygenerované dráhy a obrobení	46
Obr. 35	Operace 12 – vygenerované dráhy a obrobení	46
Obr. 36	Operace 13 – vygenerované dráhy a obrobení	47
Obr. 37	Operace 14 – vygenerování dráhy a obrobení	47
Obr. 38	Operace 15 – vygenerování dráhy a obrobení	48
Obr. 39	Operace 16 – vygenerované dráhy a obrobení	48
Obr. 40	Operace 17 – vygenerované dráhy a obrobení	49
Obr. 41	Operace 18 – vygenerované dráhy a obrobení	49
Obr. 42	Operace 19 - vygenerované dráhy a obrobení	50
Obr. 43	Operace 20 – vygenerované dráhy a obrobení	50
Obr. 44	Operace 21 - vygenerované dráhy a obrobení	51
Obr. 45	Operace 22 – vygenerované dráhy a obrobení	51
Obr. 46	Operace 23 – vygenerování dráhy a obrobení	52
Obr. 47	Stav po obrobení jednoho lůžka	52
Obr. 48	Operace 24 – vygenerované dráhy a obrobení	53
Obr. 49	Náhled na simulaci stroje HERMLE C20	54
Obr. 50	Několik vyobrazení simulací úseků	54
Obr. 51	Problematika zbytkového materiálu	56
Obr. 52	Strategie vrtání vnitřního chlazení nástroje	57
Obr. 53	Konstrukční návrh ploch nadlůžka	58
Obr. 54	Výběr obráběcího CNC centra	61
Obr. 55	Vysokorychlostní obráběcí centrum DMG HSC 55 linear (17)	62
Obr. 56	Obráběcí centrum HERMLE C30 (18)	63
Obr. 57	Obráběcí centrum firmy Mazak (18)	63
Obr. 58	Obráběcí centrum firmy HERMLE C42 (19)	64
Obr. 59	Hrubý odhad časové úspory technologií obrábění	68



Seznam tabulek

Tab. 1	Srovnání metod obrábění	17
Tab. 2	Chemické složení 16 343 (hm. %)	28
Tab. 3	Nástrojový list současného stavu obrábění	31
Tab. 4	Tabulka operací obrábění makra odlehčení	32
Tab. 5	Tabulka operací obrábění vnitřního chlazení	32
Tab. 6	Operace 7 obrábění zubové mezery	33
Tab. 7	Operace 8 obrábění zubové mezery	33
Tab. 8	Operace 9,10 obrábění zubové mezery	33
Tab. 9	Nástrojový list nové technologie obrábění	38
Tab. 10	Operace 1 – technické parametry	41
Tab. 11	Operace 2 – technické parametry	41
Tab. 12	Operace 3 – technické parametry	42
Tab. 13	Operace 4 – technické parametry	42
Tab. 14	Operace 5 – technické parametry	43
Tab. 15	Operace 6 – technické parametry	43
Tab. 16	Operace 7 – technické parametry	44
Tab. 17	Operace 8 – technické parametry	44
Tab. 18	Operace 9 – technické parametry	45
Tab. 19	Operace 10 – technické parametry	45
Tab. 20	Operace 11 – technické parametry	46
Tab. 21	Operace 12 – technické parametry	46
Tab. 22	Operace 13 – technické parametry	47
Tab. 23	Operace 14 – technické parametry	47
Tab. 24	Operace 15 – technické parametry	48
Tab. 25	Operace 16 – technické parametry	48
Tab. 26	Operace 17 – technické parametry	49
Tab. 27	Operace 18 – technické parametry	49
Tab. 28	Operace 19 – technické parametry	50
Tab. 29	Operace 20 – technické parametry	50
Tab. 30	Operace 21 – technické parametry	51
Tab. 31	Operace 22 – technické parametry	51



Tab. 32	Operace 23 – technické parametry	52
Tab. 33	Operace 24 – technologické parametry	53
Tab. 34	Základní technické parametry DMG	62
Tab. 35	Základní technické parametry stroje MAZAK	63
Tab. 36	Úspory v oblasti výměny a použití nástrojů	65
Tab. 37	Rozpis výsledných časů výroby nové technologie výroby lůžek	70

Seznam příloh

Příloha 1	Produktový leták stopkové frézy SAD11E-C
Příloha 2	ISO systém značení stopkových fréz
Příloha 3	Seřizovací list
Příloha 4	Popis jednotlivých ploch a operačních úseku
Příloha 5	Výkres polotovaru 20AxR032B20-SAD11E-C
Příloha 6	Výkres obrobku xxAxRxxxBxx-SAD11E-C